Н. С. Дрентельнъ.

Глубокоуважаемому Николаю Александровичу Рубакину отъ автора

ФИЗИКА

ВЪ ОБЩЕДОСТУПНОМЪ ИЗЛОЖЕНІИ.

ПОСОБІЕ

ДЛЯ ОБУЧЕНІЯ и САМООБРАЗОВАНІЯ.

Книга содержитъ основныя свѣдѣнія изъ физики, изложенныя въ связи съ повседневными явленіями и безъ помощи математическихъ формулъ; надлежащее мѣсто отведено обобщающимъ началамъ и современнымъ открытіямъ.

Со многими вопросами для упражненія
и 517 рисунками.



Изданіе Т-ва И. Д. Сытина.
1909.

Типографія Спб. Т-ва Печ. и Изд. дѣла „Трудъ". Фонт...

СОДЕРЖАНІЕ[1].

[1] Цифры обозначаютъ *страницы*. Въ текстѣ тѣ параграфы, къ которымъ имѣются *вопросы*, помѣчены *звѣздочками*. — Во избѣжаніе недоразумѣній надо имѣть въ виду, что подъ *билліономъ* вездѣ подразумѣвается *милліонъ милліоновъ*, а подъ мильярдомъ тысяча милліоновъ. — Для розысканія подробностей см. *алфавитный указатель* въ концѣ книги.

ТАБЛИЧКА
для приблизительнаго перевода нѣкоторыхъ метрическихъ мѣръ на русскія.[1]

Метръ (м.) = 22,5 вершка = 39,4 дюйм. (почти $1/2$ саж.).
Дециметръ (дцм.). = 0,1 м. = $2^1/_4$ верш. = прибл. 4 дюйм.
Сантиметръ (см.) = 0,01 м. = приблиз. $2/5$ дюйма.
Миллиметръ (мм.) = 0,001 м. = приблиз. $1/25$ дюйма.

Километръ (км.) = 1000 м. = $15/16$ версты (почти верста).

Сажень. Верста.

2 метра. Километръ.

Литръ (куб. дцм.) = 1000 куб. см. = 61 куб. дюйму ($1^3/_5$ бутылки или $2/25$ ведра).
Граммъ (гр.) = вѣсу 1 куб. сантим. воды при 4° Ц.
= 10 дециграммамъ = 100 сантигр. = 1000 миллигр.
= $\frac{1}{410}$ фунта = 0,23 золотника (почти $\frac{1}{4}$ золотн.).
Килограммъ (кг.) = вѣсу 1 куб. децим. (литра) воды при 4° Ц.
= 1000 граммамъ
= 2,44 фунтамъ (немного менѣе $2^1/_2$ ф. или $1/16$ пуда).
Тонна (метрическая) = вѣсу 1 куб. м. воды = 1000 кг. = 61 пуду.

$2^1/_2$ фунта.

Килограммъ.

Килограмметръ (кг.-м.) = работѣ поднятія 1 кг. на 1 м. = $1/5$ пудофута. Рабочая мощность въ 1 *паровую лошадь* (15 пудофут. въ сек.) = 75 кг.-м. въ сек. *Киловаттъ* = работѣ 102 кг.-м. въ сек. = прибл. $1^1/_3$ паров. лошади.

$$1^\circ \text{Ц.} = 4/5^\circ \text{Р.}$$

Замѣчаніе. Діаметръ пятиалтыннаго оч. близокъ къ 2 см., а вѣсъ серебрянаго пятачка—къ 1 гр. (серебряный рубль вѣситъ около 20 гр.).

[1] Болѣе подробныя таблицы помѣщены въ концѣ книги, стр. 781.

Отъ автора[1].

Методъ изслѣдованія, послѣ многихъ блужданій установившійся въ естествознаніи, — въ дѣйствительности не что иное, какъ тотъ самый пріемъ, которымъ пользуется житейскій „здравый разсудокъ" для практическихъ цѣлей повседневной жизни, пользуется самъ собою, безъ всякаго научнаго воспитанія; несомнѣнные слѣды его примѣненія мы встрѣчаемъ даже у наиболѣе умныхъ животныхъ.

Гельмгольцъ.

Въ наше время физика перестала быть лишь „наукой, которой занимаются ученые" и „учебнымъ предметомъ", существующимъ ради экзамена. Изъ тѣснаго помѣщенія лабораторіи и класса она безповоротно вышла на широкій просторъ многообразныхъ людскихъ интересовъ; результаты физическихъ изслѣдованій бьютъ въ глаза, даютъ себя знать и въ нашей обыденной жизни, и во всѣхъ отрасляхъ научнаго знанія[2]. На ряду съ учебникомъ, излагающимъ начала физики при посредствѣ среднеучебнаго курса математики, необходима книга, которая, предполагая у читателя меньшія математическія познанія, тѣмъ не менѣе давала бы достаточное знакомство съ физикой. Мой трудъ задается именно этой задачей. Онъ однако имѣетъ въ виду не только сообщить въ общедоступной формѣ рядъ фактическихъ свѣдѣній, но и

[1] Желательно, чтобы читатель ознакомился съ предисловіемъ (хотя бы съ болѣе крупнымъ его шрифтомъ), прежде чѣмъ пользоваться книгой.

[2] Очень картинно это выражено въ слѣдующихъ словахъ одного французскаго автора. Физика, которая сотню лѣтъ назадъ представляла собой островокъ, уединенный отъ жизни народовъ, сдѣлалась нынѣ „величайшей наукой", распространившей свой авторитетъ надъ міромъ, начиная нашей повседневной жизнью и кончая тѣми невозмутимыми высями, въ которыхъ витаетъ мысль философа. (См. талантливо и живо написанную книгу *L. Houllevigue* „Du laboratoire à l'usine". Paris 1909; стр. XII).

расширить умственный кругозоръ читателя въ его отношеніяхъ къ природѣ и наукѣ. Нижеслѣдующіе пункты, которые мнѣ бы хотѣлось здѣсь подчеркнуть, я считаю главными особенностями книги.

1. При изложеніи фактовъ и положеній физики я старался вездѣ, гдѣ это возможно, **исходить изъ свѣдѣній, которыми болѣе или менѣе обладаетъ каждый**, главнымъ образомъ изъ опыта житейскаго, или **для пріобрѣтенія которыхъ достаточно простого вниманія къ окружающему.** Изложеніе по мѣрѣ надобности возстановляетъ въ памяти читателя эти свѣдѣнія, съ тѣмъ, чтобы исправлять, дополнять и осмысливать ихъ. Оно стремится показать, что **правильно производимыя наблюденія** и въ особенности активная ихъ форма, **опытъ** (экспериментъ), дѣлаютъ наши свѣдѣнія о природѣ **болѣе полными и болѣе точными** и ведутъ насъ къ раскрытію **взаимной связи явленій**,—а это главная задача всякаго **научнаго знанія**, въ которое физика дѣлаетъ свой столь существенный вкладъ. Широкія обобщенія физики представляются въ совсѣмъ иномъ свѣтѣ, когда они являются не продиктованными кѣмъ-то положеніями, требующими „доказательствъ", а выростаютъ изъ многочисленныхъ корней, глубоко скрытыхъ въ почвѣ повседневнаго знанія.

Планъ книги въ существенныхъ чертахъ сложился у меня въ теченіе многолѣтняго преподаванія физики въ земской Учительской школѣ, подъ прямымъ вліяніемъ опыта, вынесеннаго мною изъ частыхъ бесѣдъ съ учащимися. Имѣя дѣло съ юношами и взрослыми людьми, мало подготовленными, но очень интересующимися, и постоянно стараясь стать на ихъ мѣсто, я многому научился самъ. Я вынесъ убѣжденіе, что знанія нельзя навязывать,—что интересъ къ нему поддерживается лишь живою связью сообщаемыхъ свѣдѣній съ тѣми, которыя составляютъ собственное достояніе учащихся. Такимъ образомъ мало по малу у меня составился планъ общеобразовательнаго курса физики, и моя „Физика" является лишь слабой попыткой осуществить этотъ планъ. Происхожденіемъ книги—на почвѣ класснаго преподаванія—объясняется то, почему она въ значительной мѣрѣ носитъ характеръ учебнаго пособія.

2. Изложеніе „Физики" **общедоступно** въ томъ смыслѣ, что предполагаетъ въ читателѣ довольно скромную предварительную подготовку; въ частности, оно **не опирается на математическія формулы**, такъ какъ превосходная сама по себѣ математическая рѣчь, для тѣхъ, кто не вполнѣ освоился съ нею, вноситъ лишь новую трудность—рядомъ съ трудностью непривычныхъ физическихъ понятій и терминовъ. Содержаніе физики по существу настолько важно и интересно само по себѣ, что было бы по меньшей мѣрѣ неосторожно ставить элементарное ознакомленіе съ нею въ неразрывную связь съ математикой, связь, которая для многихъ непосвященныхъ въ дѣло представляется чуть не роковою. Не могу не привести по этому поводу нѣсколькихъ словъ Тиндаля изъ предисловія къ пятому изданію его замѣчательныхъ популярныхъ чтеній о звукѣ: „В в е с т и м а т е м а т и к у въ это с о ч и н е н і е з н а ч и л о б ы съ м о е й т о ч к и з р ѣ н і я п о г у б и т ь е г о".

Уровень математическихъ познаній, необходимыхъ для пониманія текста, ограничивается элементарной арифметикой и нѣкоторыми свѣдѣніями изъ геометріи на плоскости; въ первыхъ главахъ книги я стараюсь по возможности обходиться съ простыми дробями, прибѣгая къ десятичнымъ лишь дополнительно.

3. Въ отношеніи **подбора опытовъ** сдѣлано все возможное, чтобы они были **просты** и вмѣстѣ **убѣдительны**; описаніе по большей части знакомитъ не столько съ „приборомъ", сколько съ „пріемомъ", ведущимъ къ требуемому заключенію [1]. Но, вообще говоря, описаніе опытовъ не разсчитано непремѣнно на то, чтобы читатель могъ съ успѣхомъ производить ихъ самъ.

По этому поводу считаю нужнымъ замѣтить, что мой трудъ отнюдь не задается цѣлью давать „техническія умѣнья", всю важность которыхъ я однако не думаю отрицать. Но я полагаю (и едва ли противъ этого найдутся возраженія), что **по однѣмъ книгамъ вообще нельзя „научиться физикѣ"**; необходимо самостоятельное экспериментированіе, а оно требуетъ выполненія такихъ условій, на которыя не можетъ разсчитывать изложеніе моей книги. Поэтому подробное описаніе опытовъ въ т а к о й книгѣ было бы совершенно безполезно и могло бы лишь затемнить пониманіе выводовъ.

4. Считая, соотвѣтственно намѣченной выше главной цѣли, очень важнымъ ввести читателя въ кругъ **широкихъ обобщеній физики**, ея основоположеній, я рѣшился, при всей элементарности книги, включить въ нее **основные законы движенія** (но безъ догматической ихъ формулировки) и **законъ сохраненія энергіи.** Роль послѣдняго въ элементарномъ изложеніи представляется мнѣ въ особенности цѣнною; поэтому закону сохраненія энергіи удѣлено въ послѣднихъ главахъ книги много вниманія.—Съ формальной стороны такъ называемый „механическій отдѣлъ" физики представленъ очень немногимъ: равномѣрнымъ движеніемъ, движеніемъ падающихъ и брошенныхъ тѣлъ и качаніями маятника. Я полагаю, что самая сущность формальныхъ механическихъ понятій (каковы понятія о скорости, ускореніи, объ измѣреніи массъ и силъ и пр., а также ф о р м у л и р о в к а основныхъ законовъ движенія) обязываетъ проходить ихъ послѣ того, какъ физическая почва уже достаточно подготовлена, и при непремѣнномъ содѣйствіи математики—никакъ не менѣе, чѣмъ въ объемѣ среднеучебнаго курса. Превосходный образецъ такого распредѣленія матерьяла даетъ извѣстная „Начальная физика" Любимова (2-е изд., М. 1876), представляющая много поучительнаго и теперь, несмотря на то, что въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ она конечно сильно устарѣла.

Не думая отрицать всей важности механическихъ понятій въ физикѣ, я однако долженъ сказать, что рѣшительно становлюсь на сто-

---

[1] Преобладающій характеръ опытовъ элементарнаго курса (слѣдов. и бо́льшей части среднеучебнаго), какими я ихъ себѣ представляю, еще лучше виденъ изъ двухъ другихъ моихъ книжекъ, посвященныхъ исключительно экспериментированію: *„Простые физическіе опыты и приборы"* и *„Пособіе для практическихъ работъ по физикѣ въ средней школѣ"*—обѣ въ изданіи т-ва И. Д. Сытина, 1908.

рону тѣхъ, кто считаетъ одностороннимъ и безплоднымъ стремленіе сводить всѣ явленія природы къ механическимъ. Послѣ глубокихъ критическихъ трудовъ Э. Маха и его единомышленниковъ, а также новѣйшихъ открытій въ физикѣ, едва ли могутъ быть еще какія нибудь колебанія въ этомъ смыслѣ. Различныя науки — говоритъ англійскій физикъ Ветгэмъ — являются какъ бы сѣченіями той модели природы, которую мы себѣ строимъ, въ извѣстныхъ произвольныхъ плоскостяхъ, проведенныхъ въ удобныхъ для насъ направленіяхъ. „Плоскость, которую наука механики пересѣкаетъ ее, пересѣкаетъ ее такъ, что проходитъ чрезъ бо̀льшую часть модели,— пожалуй бо̀льшую, чѣмъ всякое сѣченіе, до сихъ поръ проведенное. Отсюда однако не слѣдуетъ, что она пересѣкаетъ все цѣлое, и еще менѣе, что плоское сѣченіе можетъ представить полностью модель трехъ измѣреній“. (*Современное развитіе физики*. Р. перев. Одесса 1908. Стр. 42, 43, 45). — Я не думаю однако, чтобы въ предлагаемой мною элементарной книгѣ эти взгляды приводили къ какимъ-либо крайностямъ, за которыя меня могли бы упрекнуть сторонники противоположнаго образа мыслей.

5. **Гипотезамъ** отведено довольно скромное мѣсто. На этой ступени изложенія важная роль научныхъ гипотезъ едва-ли можетъ быть разъяснена какъ слѣдуетъ, и гипотетическія толкованія создали бы только новую ненужную трудность. Исключеніе сдѣлано лишь для атомическихъ представленій и роли міровой среды (эфира).

6. Всѣ **болѣе трудные вопросы** я старался излагать въ тѣсной связи съ достаточнымъ фактическимъ матерьяломъ, притомъ возвращаясь къ нимъ **въ разныхъ мѣстахъ текста**, всякій разъ, когда представлялся случай взглянуть на нихъ съ новой точки зрѣнія или при иномъ освѣщеніи.

7. Главною задачей, которую ставитъ себѣ моя „Физика“, опредѣляется и то, какъ и въ какой мѣрѣ я касаюсь **практическихъ приложеній**. Обобщенія физики не разъ возникали на почвѣ чисто практической (технической) и, въ свою очередь, служили для новыхъ практическихъ примѣненій. Эту **живую связь науки съ практикой** я и стараюсь всегда подчеркивать, не входя въ чисто техническія подробности. Больше всего вниманія конечно удѣлено нѣкоторымъ изъ ряду вонъ выходящимъ практическимъ примѣненіямъ, которыя или содѣйствуютъ значительному расширенію способовъ изученія природы (какъ напр. оптическіе инструменты), или оказываютъ большое вліяніе на жизненныя условія культурныхъ народовъ (какъ паровая машина и примѣненія электрической энергіи).

8. Вслѣдъ за главами помѣщены **вопросы**, которымъ я придаю важное значеніе [1]. Они должны служить средствомъ уясненія, а иногда и дополненія различныхъ мѣстъ текста. Нѣкоторые изъ вопросовъ, на ряду съ самыми элементарными, назначаются для читателей, способныхъ преодолѣвать извѣстныя трудности и болѣе свободно обращающихся съ арифметическими выкладками.

[1] Параграфы текста, къ которымъ имѣются вопросы, отмѣчены звѣздочками.

Вопросы, надо сознаться, безсистемны и распредѣлены неравномѣрно; но такъ какъ почти всѣ они возникли на почвѣ преподаванія въ указанномъ выше духѣ (многіе были внушены вопросами самихъ же учащихся), то они, надо думать, послужатъ полезнымъ матерьяломъ для упражненія самодѣятельности тѣхъ, кто достаточно внимательно освоился съ текстомъ.

Основной и болѣе мелкій шрифтъ книги тѣсно между собою связаны: напечатанное, въ виду сокращенія размѣровъ книги, болѣе мелкимъ шрифтомъ нельзя разсматривать лишь какъ рядъ дополненій или вставокъ (за немногими исключеніями); напротивъ, **нѣкоторую законченность изложеніе представляетъ именно въ его цѣломъ**. Мелко напечатано главнымъ образомъ то, что можетъ представить больше трудностей для пониманія. Но пропускъ этихъ частей текста вообще не долженъ помѣшать чтенію напечатаннаго основнымъ шрифтомъ.

Хотя введеніе **метрическихъ мѣръ** создаетъ для непривыкшихъ къ нимъ немаловажную трудность, я однако не считалъ возможнымъ отказаться отъ этого важнаго подспорья въ дѣлѣ изученія и описанія явленій. Думаю, что мнѣ удалось облегчить трудность постепенностью перехода къ метрическимъ единицамъ: въ началѣ я пользуюсь ими очень умѣренно (почти лишь въ вопросникахъ), и только съ главъ о теплотѣ онѣ вполнѣ вытѣсняютъ собою русскія. [1]

Планъ книги въ общихъ чертахъ слѣдующій.

Первыя двѣ главы содержатъ предварительныя свѣдѣнія о физическихъ тѣлахъ, причемъ описаніе начинается съ воздуха, какъ тѣла, образующаго нашу атмосферу, нашу „среду“, и поэтому представляющаго для насъ совершенно исключительный интересъ. Главы III—V касаются нѣкоторыхъ явленій тяжести и имѣютъ главною цѣлью показать, какимъ образомъ изученіе открываетъ тѣсную связь между явленіями, повидимому столь различными, какъ паденіе камня, всплываніе куска дерева, „втягиваніе“ воды насосомъ, поднятіе аэростата. Слѣдующая (VI) глава посвящена простѣйшимъ случаямъ движенія въ связи съ движеніемъ тѣлъ падающихъ и брошенныхъ. Маятникъ, качанія котораго разсматриваются какъ послѣдовательный рядъ паденій и поднятій, приводитъ къ факту измѣняемости вѣса тѣлъ и къ необходимости отличать вѣсъ отъ количества вещества, отъ его „массы“. Въ гл. VII на многихъ разнообразныхъ примѣрахъ разсматривается механическое взаимодѣйствіе тѣлъ, служащее основаніемъ для болѣе полной характеристики „массы“, и вводится механическое понятіе о „силѣ“. Въ заключеніе главы брошенъ взглядъ на силу всеобщаго тяготѣнія, и съ этой новой точки зрѣнія тяжесть является лишь частнымъ случаемъ болѣе общаго взаимодѣйствія тѣлъ. Матерьялъ этихъ двухъ главъ (VI, VII) группируется въ сущности около трехъ Ньютоновыхъ началъ движенія, хотя и безъ догматической ихъ формулировки. Главы VIII и IX содержатъ сравнительную характеристику твердыхъ, жидкихъ и газообраз-

[1] Для перевода метрическихъ мѣръ на русскія и обратно могутъ быть полезны составленныя мною таблички, которыя помѣщены передъ предисловіемъ и въ концѣ книги, вслѣдъ за текстомъ.

ныхъ тѣлъ и ихъ измѣненій въ зависимости отъ температуры. Въ общемъ, главы I—IX даютъ **кругъ свѣдѣній о физическихъ тѣлахъ и тѣхъ условіяхъ, въ которыхъ по необходимости совершаются всѣ наши наблюденія на земной поверхности** (вѣсомая и упругая воздушная среда, тяготѣніе тѣлъ къ землѣ и опредѣленныя температурныя границы). Въ главахъ X—XII разсматриваются затѣмъ более глубокія измѣненія тѣлъ при взаимномъ соприкосновеніи и отъ дѣйствія теплоты (раствореніе, химическія измѣненія), ведущія къ идеѣ о реальныхъ границахъ превращаемости вещества (понятіе о химически-простыхъ тѣлахъ) и къ закону сохраненія массы, регулирующему превращенія, каковы бы они ни были; особенное вниманіе отведено здѣсь явленіямъ горѣнія. Глава XIII подводитъ итоги, знакомитъ съ гипотезой частичнаго строенія тѣлъ и касается нѣкоторыхъ важныхъ обстоятельствъ нашего познаванія. На основаніи ощущеній, доставляемыхъ намъ тѣми или другими органами чувствъ, здѣсь подъ конецъ намѣчаются ближайшіе отдѣлы книги—отдѣлы звука, свѣта и теплоты.

Главная цѣль двухъ главъ о звукѣ (XIV и XV), резюмированная въ § 259,—провести различіе между субъективнымъ и объективнымъ (физическимъ) взглядомъ на явленія и подчеркнуть важные результаты, къ которымъ приводитъ изученіе звука, разсматриваемаго внѣ насъ какъ колебательное движеніе тѣла или его частей.

Въ отдѣлѣ о свѣтѣ (гл. XV—XXI) при подходящихъ случаяхъ проводится та же мысль о необходимости отличать чисто субъективную сторону нашихъ свѣтовыхъ и зрительныхъ воспріятій отъ ихъ объективной внѣшней причины и дается нѣкоторое понятіе о волнахъ гипотетической міровой среды; въ особенности въ концѣ гл. XXI, при сравненіи нѣкоторыхъ явленій свѣта и звука, является возможность подчеркнуть періодическій или волнообразный характеръ распространенія „лучей". Въ гл. XX (о глазѣ и зрѣніи) сравнительно много мѣста отведено „вооруженному зрѣнію", т. е. зрѣнію при помощи оптическихъ приборовъ.

Главы (XXII—XXVI) о теплотѣ задаются задачей выяснить рѣшающую роль этого дѣятеля въ томъ, какимъ представляется намъ окружающій насъ тѣлесный міръ, и одновременно подготовить почву для введенія понятія объ энергіи. Поэтому отдѣлъ о теплотѣ изложенъ по возможности въ тѣсной связи съ понятіемъ о работѣ, которое—самымъ элементарнымъ образомъ—вводится въ главѣ XXIII.

Глава XXVII посвящаетъ энергіи и закону сохраненія энергіи гораздо больше вниманія и мѣста, чѣмъ это принято въ элементарныхъ курсахъ физики. Я того мнѣнія, что именно въ элементарномъ курсѣ понятіе объ энергіи, разсмотрѣнное достаточно внимательно (но безъ увлеченія нѣкоторыми **крайностями** энергетическаго міровоззрѣнія) можетъ оказать неоцѣнимую услугу въ дѣлѣ объединенія разнородныхъ явленій [1]. Понятіе это, если его тѣсно связать съ понятіемъ о работѣ, въ сущности столь обыденнымъ, не представляя какихъ либо принципіальныхъ трудностей, даетъ нѣкоторую общую мѣру разнороднѣйшимъ явленіямъ и позволяетъ не вдаваться въ обременительныя для мало-подготовленнаго читателя частности (въ „механизмъ" явленій). Важная роль понятія объ энергіи видна уже изъ ряда примѣровъ, приведенныхъ въ XXVII главѣ (въ текстѣ и вопросникѣ), а въ отдѣлѣ электричества и электрическаго тока оно становится прямо незамѣнимымъ, такъ какъ читатель встрѣчается здѣсь съ разнообразнѣйшими превращеніями чего-то количественно сохраняющагося и существующаго какъ бы помимо тѣлъ. Какъ назвать это нѣчто, эту „дѣйственность" (Wirksamkeit), которой хозяиномъ все болѣе и болѣе становится культурный человѣкъ? Какъ оцѣнить „величину дѣйствія" въ отдѣльныхъ случаяхъ, столь разнообразныхъ по своей внѣшности? Понятіе объ энергіи чрезвычайно облегчаетъ эту трудную въ элементарномъ курсѣ задачу—какъ „деньги" облегчаютъ практическую задачу оцѣнки человѣческаго труда. Въ особенности тамъ, гдѣ недостатокъ подготовки не позволяетъ вдаваться въ измѣрительныя подробности, читатель получаетъ однако нѣкоторое совершенно опредѣленное представленіе, если будетъ знать, что извѣстное дѣйствіе (напр. электрическое) можно приравнять работѣ поднятія стольких-то килограммовъ или пудовъ на такое-то число метровъ или футовъ. Связующимъ звеномъ въ подобныхъ примѣрахъ и служитъ понятіе объ энергіи. Знатокъ предмета пожалуй можетъ удовольствоваться математической функціей, связывающей измѣренныя явленія, хотя бы въ формѣ дифференціальнаго уравненія; но для приступающихъ къ знакомству съ физикой (да развѣ только для нихъ?) голая формула—нѣчто слишкомъ отвлеченное и трудное. Мнѣ могутъ справедливо возразить, что принципъ сохраненія энергіи самъ по себѣ, безъ принципа разсѣянія, или т. наз. „второго начала", страдаетъ нѣкоторой неполнотой, какъ бы недоговоренностью; но „второе начало", несмотря на нѣкоторыя замѣчательныя попытки популяризовать его [1], все еще представляетъ для элементарнаго изложенія большія трудности, и я не рѣшился ввести его въ свою „Физику" (ограничившись лишь нѣкоторыми намеками).

Въ главѣ о магнитныхъ явленіяхъ (XXVIII) свѣдѣнія о стальныхъ магнитахъ имѣютъ цѣлью дать первое понятіе о магнитномъ полѣ и познакомить съ магнитнымъ полемъ земли. Вмѣстѣ съ тѣмъ подчеркнута всеобщность магнитныхъ явленій въ природѣ.

Главы XXIX и XXX, посвященныя тѣмъ электрическимъ явленіямъ, которыя обыкновенно входятъ въ „электростатику", подчеркиваютъ ихъ распространенность въ природѣ и тѣсную связь искусственно производимыхъ электрическихъ разрядовъ съ молніей. Онѣ обращаютъ далѣе вниманіе на то, что мы встрѣчаемся здѣсь съ новой формой энергіи, возникновеніе которой неизбѣжно связано съ затратою работы. Сравнительно много мѣста отведено явленіямъ электрическаго разряда, какъ подготовляющимъ удобный переходъ къ эл. току. Въ подходящихъ случаяхъ конечно приходится ссылаться на трудность, проистекающую отъ того, что наукѣ настоящаго времени не достаетъ объединеннаго взгляда относительно существа электрическихъ явленій, и на необходимость придерживаться главнымъ образомъ указаній опыта. При нѣсколько болѣе подробномъ разборѣ явленій перехода электричества въ гл. XXX вводятся (опытнымъ путемъ) понятія о „степени электризаціи" проводника и „электрической разности", взамѣнъ эл. потенціала и разности потенціаловъ,—терминовъ, которые я не рѣшился ввести въ элементарное изложеніе, обходящееся безъ математическихъ формулъ.

Въ гл. XXXI разсматриваются главнѣйшія явленія электрическаго тока, какъ длящагося разряда,—какъ процесса непрерывнаго выравниванія электрической разности, поддерживаемой затратою нѣкоторой энергіи,—причемъ магнитныя дѣйствія тока даютъ поводъ нѣсколько расширить свѣдѣнія о магнитномъ полѣ. Послѣ опытовъ съ

---

[1] Вотъ напр. какъ по этому поводу выражается французскій физикъ Гильомъ: „...благодаря началу сохраненія энергіи, нынѣ средній студентъ можетъ предсказать безчисленное множество явленій, въ которыхъ съ трудомъ разобрались бы великіе ученые начала XIX вѣка". См. его предисловіе къ французскому переводу книжки: Auerbach „Die Weltherrin und ihr Schatten", въ русскомъ изданіи которой („Царица міра и ея тѣнь") помѣщено то же предисловіе.

[1] См. напр. изданную на нѣмецкомъ яз. книжку проф. О. Д. Хвольсона „Hegel, Häckel, Kossuth und das zwölfte Gebot" (Braunschweig 1906), стр. 64. Переведенный мною соотвѣтствующій отрывокъ напечатанъ въ журн. „Народное Образованіе", дек. 1908.

токомъ отъ гальваническихъ элементовъ—самаго доступнаго въ обычной обстановкѣ источника—я счелъ очень важнымъ немедленно перейти къ тому способу производства тока, который имѣетъ столь преобладающее практическое значеніе,—къ полученію тока насчетъ затраты механической энергіи, работы. Сославшись на то, что движеніе замкнутаго проводника между концами подковообразнаго магнита встрѣчаетъ какое-то особенное сопротивленіе, на преодолѣніе котораго надо затрачивать работу, и сказавъ, что эта работа именно преобразовывается въ энергію электрическаго тока, можно прямо приступить къ опытамъ съ обычною машиною Грамма. Если вращать машину при разомкнутыхъ и при замкнутыхъ проводахъ, то легко тотчасъ же убѣдиться, что на вращеніе въ послѣднемъ случаѣ приходится затрачивать больше работы. Простой опытъ затѣмъ показываетъ, что ту-же машину можно обратить въ электродвигатель, если затратить электрическую энергію въ видѣ тока извнѣ. Не вдаваясь здѣсь въ разсмотрѣніе явленій электромагнитной индукціи, представляющихъ немаловажныя трудности для перваго раза,—особенно при невозможности установить связь явленій путемъ простыхъ и убѣдительныхъ опытовъ,—все же можно такимъ образомъ дать нѣчто положительное, напр. связать въ представленіи читателя величину дѣйствій электрическаго тока съ количествомъ топлива, расходуемымъ для производства тока на электрической станціи. Къ сожалѣнію дороговизна превосходнаго прибора Грамма можетъ явиться серьезной помѣхой для такого пріема изложенія.

Въ слѣдующей (XXXII) главѣ, давъ нѣкоторое понятіе, путемъ аналогій, о силѣ тока и о сопротивленіи и объяснивъ чисто формально законъ Ома (примѣрами его примѣненія служатъ соединенія элементовъ въ батареи), я возвращаюсь къ явленіямъ электромагнитной индукціи. Сперва разсматривается простѣйшій случай возникновенія перемѣннаго тока при движеніи замкнутой проволочной обмотки въ магнитномъ полѣ, потомъ способъ выпрямленія тока коллекторомъ машины Грамма, а затѣмъ дѣлается естественный переходъ къ принципу динамоэлектрической машины. Глава заканчивается индукціей токовъ токами, поскольку это нужно для ознакомленія съ индукціонной спиралью.

Главѣ (XXXIII) о практическихъ примѣненіяхъ тока я придаю немаловажное значеніе въ виду огромной роли, какую призвана играть эта форма энергіи въ жизни культурныхъ народовъ; роль эта при подходящихъ случаяхъ особо подчеркивается мною. Нельзя въ самомъ дѣлѣ обойти въ книгѣ по физикѣ, хотя бы и элементарной, совершенно исключительныхъ успѣховъ электротехники за послѣднее время,—нельзя не отмѣтить дружной работы ученыхъ и практиковъ на почвѣ завоеванія природы физическими методами изслѣдованія. Въ виду главной цѣли этой главы я старался, соблюденіемъ извѣстной мѣры, не затмить общей величественной картины частностями.

Слѣдующая затѣмъ (XXXIV) глава касается энергіи солнечнаго излученія, какъ главнаго источника энергіи на землѣ, ничтожнѣйшую долю которой утилизуетъ вся наша техника. Это приводитъ еще разъ къ вопросу о способѣ, какимъ энергія солнца достигаетъ земли чрезъ міровую „пустоту“,—къ вопросу о міровой роли эфира. Чтобы выяснить на болѣе понятномъ всякому примѣрѣ, насколько толкованіе явленій природы связано съ тѣми или иными свойствами среды, я предлагаю читателю убѣдиться рядомъ примѣровъ (преимущественно повторительнаго характера), что съ опредѣленными физическими и химическими свойствами нашей матерьяльной среды, атмосферы, тѣснѣйшимъ образомъ связано не только наше существованіе, но и наше обыденное міропониманіе.

Глава XXXV посвящена волнообразному движенію и взгляду на явленія свѣта, какъ на частный случай распространенія электромагнитныхъ волнъ въ эфирѣ. Этимъ обобщеніемъ—однимъ изъ грандіознѣйшихъ въ области физическихъ наукъ—заканчивается изложеніе собственно физики.

Послѣдняя глава касается предмета, который вообще не вводится въ курсы физики, особенно—элементарные. Но я считаю, что дать заключительную характеристику способовъ физическаго изслѣдованія природы и отношенія физики къ нашему обыденному знанію—значитъ сильно подчеркнуть образовательную сторону физики для читателя, не ставящаго себѣ непремѣнной цѣлью спеціальнаго ея изученія [1].

Содержаніе книги представляетъ переработку — мѣстами заново—матерьяла, которому редакторъ „Народнаго образованія“ П. П. Мироносицкій предоставилъ широкое мѣсто на страницахъ журнала [2].

Въ текстѣ конечно есть заимствованія изъ другихъ книгъ, иногда буквальныя: мѣстами трудно было именно удержаться отъ соблазна передать—въ интересахъ читателя—чужими словами мысль, которую не удавалось столь же хорошо выразить своими; но такихъ мѣстъ (за исключеніемъ двухъ послѣднихъ главъ) немного. Выписки, сдѣланныя безъ измѣненій противъ подлинника, вообще отмѣчены такъ или иначе; но я не поручусь за то, чтобы это было сдѣлано вездѣ. Надѣюсь, мнѣ не поставятъ въ вину нѣкоторыхъ могущихъ оказаться оплошностей, принявъ во вниманіе все то, что вложено въ книгу мною самимъ.

Изъ лицъ, содѣйствовавшихъ своими совѣтами и замѣчаніями улучшенію моего труда, я въ особенности обязанъ глубокоуважаемому В. Л. Розенбергу и П. С. Мансветову. Въ отдѣлѣ электричества я воспользовался нѣкоторыми указаніями А. А. Добіаша.

Рисунки въ книгѣ, къ сожалѣнію, лишены желательнаго единообразія, такъ какъ частью изготовлены по оригиналамъ, сдѣланнымъ полусхематически мною, частью заимствованы изъ другихъ (б. ч. иностранныхъ) изданій. Немногіе рисунки въ первыхъ 12 главахъ, выгодно отличающіеся отъ своихъ сосѣдей, выполнены по моей просьбѣ художникомъ М. Е. Малышевымъ. Нѣсколько рисунковъ въ главѣ о магнитныхъ явленіяхъ взяты изъ очерковъ по магнитизму въ „Журналѣ для всѣхъ“, съ любезнаго разрѣшенія ихъ автора и редакціи.

Для какого круга читателей я назначаю свою книгу? Я думаю, что она можетъ служить пособіемъ для учительскихъ

---

[1] Обращаю вниманіе на *подробный алфавитный указатель* въ концѣ книги, который можетъ облегчить обзоръ ея содержанія и розысканіе частностей.

[2] „Уроки физики“ печатались главами съ сентября 1904 г. по ноябрь 1907 и съ мая по декабрь 1908. Небольшая часть ихъ была выпущена, съ измѣненіями, отдѣльной книжкой въ 1905 году подъ названіемъ „Начальной физики“. Это названіе сперва предполагалось сохранить и за цѣльнымъ изданіемъ; но потомъ я предпочелъ его замѣнить другимъ, когда размѣры книги разрослись — вопреки ожиданію — за предѣлы, которые я ставилъ себѣ вначалѣ.

школъ, для преподающихъ міровѣдѣніе въ низшей школѣ и низшихъ классахъ средней, для обучающихся физикѣ въ средне-учебныхъ заведеніяхъ, учительскихъ институтахъ и на общеобразовательныхъ курсахъ, а также для самообразованія. Но кромѣ того, основываясь на массѣ труда, вниманія и личнаго опыта, вложенныхъ въ мою „Физику“, я позволяю себѣ надѣяться, что она вообще будетъ небезполезна для начинающихъ преподавателей физики и естествознанія,—что она облегчитъ имъ самые трудные первые ихъ шаги.

Я живо чувствую, что многаго еще недостаетъ моему труду, чтобы онъ достойно выполнилъ свое назначеніе—послужить дѣлу естественно-научнаго образованія, и очень возможно, что предисловіе къ книгѣ обѣщаетъ больше, чѣмъ даетъ она сама. Книга, которая въ общедоступной формѣ давала бы понять великую—я бы сказалъ властную—роль современной физики, еще ждетъ своего составителя. Пусть возьмутся за это люди съ бо́льшими знаніями и съ талантомъ художественнаго изложенія. Что задача сто́итъ вниманія знатоковъ предмета—о томъ ярко свидѣтельствуютъ отрывочныя экскурсіи нѣкоторыхъ первоклассныхъ физиковъ въ этомъ направленіи (превосходные образцы имѣются и у насъ на русскомъ языкѣ). Но цѣльной, законченной книги, которая исходила бы отъ смутныхъ физическихъ представленій заурялнаго читателя и, раскрывая передъ нимъ все болѣе и болѣе широкіе горизонты, намѣчала бы тропинки къ горнымъ высямъ научнаго знанія,—такой книги, насколько мнѣ извѣстно, еще нѣтъ ни въ нашей, ни въ иностранной литературѣ [1].

Май 1909 г. *Н. Д.*

[1] Письменныя замѣчанія относительно недостатковъ моего труда, за которыя я былъ бы очень признателенъ, а также могущіе возникнуть вопросы, прошу адресовать въ Петербургъ, Невскій пр. 68, въ книжный магазинъ И. Д. Сытина, для передачи Николаю Сергѣевичу Дрентельну.

Библіографическія замѣтки.

. С. Дрентельнъ. Физика въ общеступномъ изложеніи. Пособіе для ученія и самообразованія. Изд. т-ва . Д. Сытина. 1909. Ц. 2 р. 85 к. 08+XVIII стр. и 517 рисунковъ.

Въ учебной литературѣ имѣются какъ гинальные, такъ и переводные учебни физики, предназначенные служить класс ми пособіями въ средней и высшей олѣ. Стремясь выполнить опредѣленную ограмму въ возможно сжатомъ видѣ, и не заботятся о развитіи самодѣятель ти ученика и объ установленіи связи жду новыми фактами и личнымъ опы- и наблюденіемъ, знакомя съ приро- описаніемъ дѣйствія и употребленія ескихъ инструментовъ, хранящихся оллекціяхъ учебныхъ заведеній. Кни- г. Дрентельна преслѣдуетъ иную цѣль: связывая себя опредѣленной учебной ограммой, но охватывая въ своемъ изло- ніи основы и главнѣйшіе успѣхи со- еменной физики, авторъ ставитъ личный ытъ и личное наблюденіе и обдумыва- е повседневныхъ явленій тѣмъ звеномъ, езъ который читатель переходитъ къ ниманію и усвоенію законовъ природы. жно только привѣтствовать появленіе ой прекрасной книги, которая окажетъ сомнѣнную услугу въ осмысленіи и военіи физическихъ явленій. Въ этомъ ношеніи она является необходимымъ по- іемъ для самообразованія, въ учитель- ихъ и низшихъ школахъ. Ученики дней и даже высшей школы съ поль- прочтутъ эту книгу несмотря на элементарность ея изложенія, пользую- гося только ариѳметикой и нѣкоторыми ѣдѣніями изъ геометріи на плоскости; кое чтеніе оживитъ сухой классный ебникъ и приблизитъ природу къ уче- ку.

Бо́льшая часть изъ 36-ти главъ книги за- нчивается рядомъ вопросовъ, предлагае- ыхъ читателю. Текстъ книги изложенъ рошимъ литературнымъ языкомъ и идѣтельствуетъ о продуманности и дагогической опытности автора. Обык- венно опускаемыя въ учебникахъ едней школы или слишкомъ кратко оминаемыя явленія волнообразнаго дви- нія, интерференціи, поляризаціи, электро- гнитныхъ волнъ, безпроводной телегра- нашли достаточное мѣсто въ удобо- ... отмѣчающемъ ихъ существенныя черты и практическое примѣненіе. Въ книгѣ мы находимъ оцѣнку нашихъ ощущеній какъ источниковъ познанія природы, и въ послѣдней главѣ въ чрезвычайно интересномъ изложеніи трактуется о той степени точности, которая достигнута современной физикой въ оцѣнкѣ явленій природы при помощи инструментовъ, и о неизбѣжныхъ погрѣшностяхъ измѣреній; здѣсь же мы встрѣчаемъ и указанія на современныя физическія гипотезы. Однимъ изъ достоинствъ книги можно указать и то, что въ ней нѣтъ ошибочныхъ изложеній, нерѣдко встрѣчающихся въ учебникахъ.

Отъ души желая книгѣ г. Дрентельна широкаго распространенія, я прибавлю, что она дѣйствительно служитъ тезису, на который ссылается авторъ въ концѣ своего труда: *знакомство съ естествознаніемъ есть грамотность мысли.*

Проф. Н. Умовъ.

жающаго—первый шагъ ко всякому ого дѣтства, незамѣтно для самихъ одаемъ то, что происходитъ вокругъ . И повседневная жизнь научаетъ рѣ, въ которомъ мы живемъ. Самое бы невозможно безъ предваритель- азнаго) знанія свойствъ тѣхъ пред- мъ приходится имѣть дѣло.

ть ни шагу, если бы не знали нѣко- теріала (пола комнаты, мостовой, почвы), тся идти. Мы не могли бы надѣть на редъ не знали, какимъ образомъ раз- ся къ движенію нашихъ рукъ и паль- таться, если бы не имѣли свѣдѣній о ь веществъ для нашего организма. По- разныхъ свѣдѣній о свойствахъ тѣлъ чтобы „сдѣлать“ напр. стулъ, замокъ, обработки матеріаловъ, идущихъ на лезной вещи, основываются именно на свойствъ этихъ матеріаловъ, ихъ отно- пр. Огромное большинство свѣдѣній едметахъ пріобрѣтаются нами безсо- ь образомъ въ первые годы нашей очти не замѣчаемъ той сокровищницы орою обладаетъ каждый изъ насъ.

нія о внѣшнемъ мірѣ были бы все если бы мы захотѣли удовольство- амъ повседневное наблюденіе. Все

I.

Введеніе.—Атмосферный воздухъ.

Чему учитъ насъ физика?

1*. Наблюденіе окружающаго—первый шагъ ко всякому знанію. Съ самаго ранняго дѣтства, незамѣтно для самихъ себя, мы постоянно наблюдаемъ то, что происходитъ вокругъ насъ, постоянно учимся. И повседневная жизнь научаетъ насъ многому о томъ мірѣ, въ которомъ мы живемъ. Самое существованіе наше было бы невозможно безъ предварительнаго (и весьма разнообразнаго) знанія свойствъ тѣхъ предметовъ, съ которыми намъ приходится имѣть дѣло.

Мы не могли бы ступить ни шагу, если бы не знали нѣкоторыхъ свойствъ того матеріала (пола комнаты, мостовой, почвы), по которому намъ приходится идти. Мы не могли бы надѣть на себя платья, если бы напередъ не знали, какимъ образомъ разныя части одежды относятся къ движенію нашихъ рукъ и пальцевъ. Мы не могли бы питаться, если бы не имѣли свѣдѣній о пользѣ и вредѣ различныхъ веществъ для нашего организма. Подумаемъ, сколько разнообразныхъ свѣдѣній о свойствахъ тѣлъ долженъ имѣть мастеръ, чтобы „сдѣлать“ напр. стулъ, замокъ, часы. Различные способы обработки матеріаловъ, идущихъ на изготовленіе какой-либо полезной вещи, основываются именно на предварительномъ знаніи свойствъ этихъ матеріаловъ, ихъ отношенія къ инструментамъ и пр. Огромное большинство свѣдѣній объ окружающихъ насъ предметахъ пріобрѣтаются нами *безсознательно* (и главнымъ образомъ въ первые годы нашей жизни)—вотъ почему мы почти не замѣчаемъ той сокровищницы „физическихъ“ знаній, которою обладаетъ каждый изъ насъ.

Однако наши свѣдѣнія о внѣшнемъ мірѣ были бы все же очень недостаточны, если бы мы захотѣли удовольствоваться тѣмъ, что даетъ намъ повседневное наблюденіе. *Всѣ*

ли мы умѣемъ правильно наблюдать? На этотъ вопросъ приходится отвѣтить: нѣтъ. Если двое были свидѣтелями одного и того же событія, даже весьма несложнаго, то каждый разскажетъ о немъ по-своему, и каждый будетъ утверждать, что правъ именно онъ. Каждый все видѣлъ „собственными глазами“ и слышалъ „собственными ушами“, а между тѣмъ разсказъ обоихъ различается не только въ подробностяхъ, но часто и въ весьма существенномъ. Что это значитъ? То, что наше обыденное наблюденіе большею частью довольно поверхностно: оно неполно и неточно. Мы очень легко смѣшиваемъ то, что дѣйствительно видѣли и слышали, съ тѣмъ, что по нашему мнѣнію должно было бы произойти. Точно наблюдать и правильно описывать явленія—дѣло весьма трудное, и способность эта дается очень немногимъ.

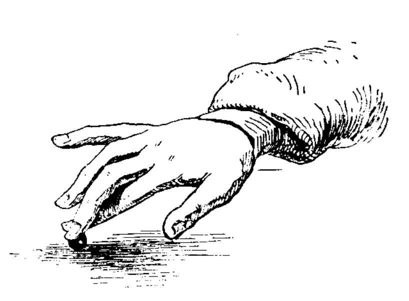
Далѣе, свѣдѣнія объ окружающемъ насъ мірѣ мы получаемъ чрезъ посредство нашихъ внѣшнихъ чувствъ: зрѣнія, осязанія, слуха и пр. Но всегда ли прямыя свидѣтельства нашихъ чувствъ заслуживаютъ довѣрія? Посмотримъ.

Когда мы стоимъ на пристани, отъ которой отплываетъ большой пароходъ, намъ кажется, что движется не пароходъ, а пристань, и нельзя отдѣлаться отъ этого впечатлѣнія, если не смотрѣть на сосѣдніе съ пристанью неподвижные предметы. Въ зеркалѣ мы видимъ предметы, которыхъ вовсе нѣтъ тамъ, гдѣ они кажутся, т. е. за зеркаломъ. Идя по улицѣ, мы часто слышимъ колокольный звонъ со стороны противоположной той, съ которой онъ идетъ въ дѣйствительности. Когда мы кричимъ, стоя противъ опушки лѣса, намъ отвѣчаетъ изъ лѣсу какъ бы нашъ собственный голосъ (эхо). И т. п.

Подобные случаи, число которыхъ можно было бы умножить еще другими примѣрами, мы обыкновенно приписываемъ „обманамъ чувствъ“. Но мы и не подозрѣваемъ, до какой степени они часты. Въ особенности осторожно надо относиться къ свидѣтельству чувствъ при сколько-нибудь необычныхъ условіяхъ. Вотъ нѣсколько примѣровъ.

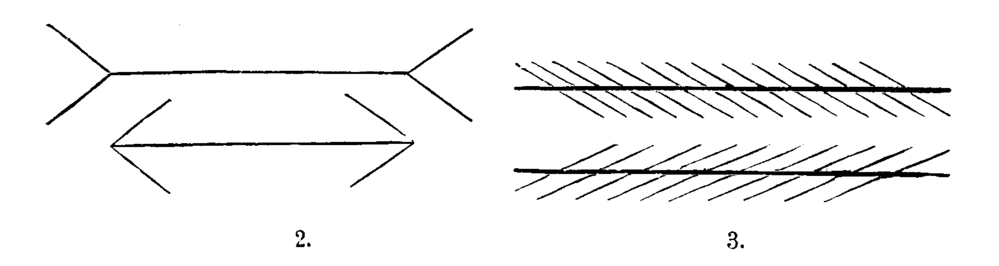
1) Мы привыкли довѣрять нашему осязанію, въ особенности пальцевъ, настолько, что, казалось бы, намъ всегда легко будетъ рѣшить, находятся ли подъ пальцемъ два

предмета или одинъ. Но если положимъ средній палецъ на указательный, какъ показываетъ рис. 1, и будемъ катать между ними по столу горошину или хлѣбный шарикъ, то намъ покажется, что мы касаемся не одного, а двухъ шариковъ.


1.

2) Нальемъ въ три сосуда воды: въ одинъ — комнатной, въ другой — горячей, въ третій—очень холодной, ледяной воды. Продержавъ нѣкоторое время одну руку въ горячей водѣ, другую въ холодной, опустимъ руки въ сосудъ съ комнатной водою. Разница въ ощущеніи будетъ очень замѣтна: одной рукѣ вода покажется свѣжею, другой—тепловатою.

3) Глазъ нашъ справедливо считается чрезвычайно точнымъ оцѣнщикомъ относительной величины предметовъ, направленій и проч. Но что и онъ можетъ иногда грубо обманываться въ этомъ отношеніи, показываютъ напр. рисунки 2 и 3. На первомъ изъ нихъ начерчены двѣ прямыя


2. 3.

линіи одинаковой длины, а на второмъ—двѣ параллельныя: первыя кажутся неравными, а вторыя непараллельными, только благодаря прибавкѣ нѣкоторыхъ косвенныхъ линій.

Въ случаяхъ, подобныхъ приведеннымъ выше, конечно легко убѣдиться, что чувства обманываютъ насъ. Напримѣръ легко провѣрить параллельность или одинаковость длины прямыхъ линій на рис. 2 и 3 посредствомъ измѣренія (какъ именно?). Но когда мы не въ состояніи провѣрить свидѣтельства нашихъ чувствъ или не знаемъ, какъ это сдѣлать,

то можемъ впасть въ большую ошибку. Напр. пространство, окружающее землю, представляется намъ въ видѣ небеснаго „свода“, котораго однако нѣтъ въ дѣйствительности. Солнце утромъ восходитъ, описываетъ днемъ круговую дугу по небесному своду и заходитъ вечеромъ; на самомъ же дѣлѣ при этомъ движется земля, а не солнце. Видя, какъ горящая свѣча мало-по-малу исчезаетъ, мы можемъ подумать, что горючій матеріалъ ея исчезаетъ безслѣдно; однако это будетъ совершенно невѣрно. И т. д.

Къ этому надо прибавить, что очень малыхъ или очень отдаленныхъ предметовъ глазъ нашъ не видитъ, очень слабыхъ звуковъ ухо не слышитъ и проч. Въ дѣйствительности мы многаго не видимъ, не слышимъ, не осязаемъ; о существованіи иныхъ вещей вокругъ насъ мы даже не подозрѣваемъ.

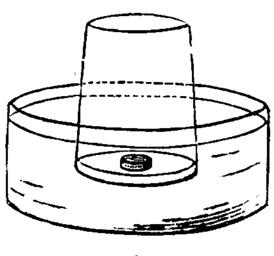
Многое вокругъ насъ происходитъ совсѣмъ не такъ, какъ намъ кажется, и чтобы составить себѣ сколько-нибудь правильный взглядъ на явленія природы, недостаточно нашего обыденнаго наблюденія. Нужно наблюденіе гораздо болѣе полное и точное, и ему-то учитъ насъ физика.

Явленія, которыя мы будемъ разсматривать ниже, большею частью относятся къ самымъ обычнымъ и важнымъ для нашего существованія. Но по изложеннымъ выше причинамъ о многихъ очень важныхъ для насъ вещахъ мы сплошь и рядомъ имѣемъ самыя поверхностныя понятія. Правильное наблюденіе можетъ расширить и сдѣлать болѣе точными наши свѣдѣнія о нихъ. Для примѣра познакомимся ближе съ нѣкоторыми свойствами воздуха, которымъ окружены всѣ земные предметы, и безъ котораго мы не могли бы просуществовать и нѣсколькихъ минутъ.

Объ атмосферномъ воздухѣ.

2*. Присутствіе воздуха мы замѣчаемъ при сильномъ взмахѣ рукою, быстромъ бѣгѣ или при вѣтрѣ (движущійся воздухъ). Воздухомъ наполненъ всякій сосудъ, который обыкновенно называютъ „пустымъ“. Если опрокинутый стаканъ погрузимъ краями въ воду, то вода не наполнитъ стакана, потому что этому мѣшаетъ находящійся въ стаканѣ

воздухъ. (Уровень воды въ стаканѣ замѣтнѣе, если на воду сперва пустить кусочекъ пробки, рис. 4). Если въ горло склянки плотно (съ помощью пробки) вставимъ воронку и нальемъ въ нее воды, то вода останется въ воронкѣ, пока воздуху не данъ будетъ выходъ изъ склянки наружу.


4.

Воздухъ легко проникаетъ всюду, гдѣ мѣсто не занято сплошь чѣмъ-либо другимъ. Присутствіе его въ тѣлахъ пористыхъ, каковы губка, сахаръ, песокъ, легко обнаружить, кладя эти тѣла въ воду: воздухъ выходитъ изъ нихъ пузырями. Въ водѣ, которую мы пьемъ, всегда „растворено“ больше или меньше воздуха. Если холодную воду оставимъ стоять въ открытомъ стаканѣ, то со временемъ замѣтимъ на стѣнкахъ стакана множество пузырьковъ: это выдѣляющійся изъ воды воздухъ. Еще обильнѣе и быстрѣе образуются пузырьки, если подогрѣть воду. Благодаря растворенному въ водѣ воздуху, возможна жизнь населяющихъ воду животныхъ и растеній.

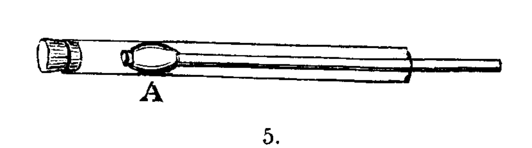
3. Нѣсколько простыхъ опытовъ дадутъ намъ возможность расширить наши свѣдѣнія о воздухѣ.

Мы считаемъ воздухъ вещественнымъ предметомъ или физическимъ тѣломъ—но почему? Кусокъ дерева, камни, металлы, вода — вотъ обыкновеннѣйшіе примѣры физическихъ тѣлъ. Казалось бы, что̀ общаго между ними и воздухомъ. Однако воздухъ и эти предметы имѣютъ много общихъ свойствъ. Надо лишь умѣть ихъ подмѣтить.

Пробуя сжимать резиновый мячъ, мы чувствуемъ сопротивленіе, напоминающее сопротивленіе сжатой пружины. Что сопротивляется сдавливанію именно воздухъ, легко убѣдиться. Сопротивленіе тотчасъ исчезнетъ, если прорвать мячъ, чтобы дать воздуху выходъ наружу; слѣдовательно оно зависѣло именно отъ воздуха.

Возьмемъ еще трубку съ плотно пригнаннымъ къ ней „поршнемъ“ (А, рис. 5). Заткнувъ хорошенько конецъ трубки, станемъ вдвигать поршень: сопротивленіе воздуха будетъ очень замѣтно. Правда, можно значительно сжать воздухъ подъ поршнемъ; но для этого нужно усиліе—тѣмъ бо́льшее,

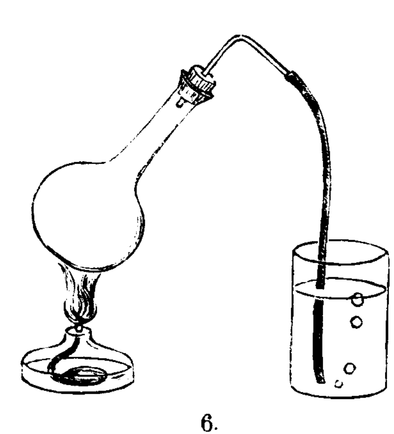
чѣмъ дальше вдвинутъ поршень; имѣвшимъ дѣло съ „велосипеднымъ насосомъ“ хорошо знакомо это усиліе. Если въ конецъ нашей трубки плотно вставимъ пробку, то при вдвиганіи поршня она съ трескомъ будетъ выброшена давленіемъ воздуха. (Припомнимъ также „картофельную хлопушку“ и духовое ружье—извѣстныя дѣтскія забавы). Прекративъ надавливаніе — при закрытой съ конца трубкѣ — увидимъ, что поршень возвращается на свое прежнее мѣсто. Словомъ, явленія происходятъ такъ, какъ будто мы сдавливали заключенную въ трубкѣ невидимую пружину. Но для этого необходимо, чтобы поршень очень плотно прилегалъ къ стѣнкамъ трубки; иначе наша невидимая пружина легко ускользаетъ изъ подъ него.



5.

Итакъ воздухъ, какъ всякое физическое тѣло, сопротивляется сдавливанію и, будучи сжатъ, производитъ давленіе на другія тѣла.

4*. Но пойдемъ дальше. Всякій вещественный предметъ имѣетъ в ѣ с ъ. Воздухъ тоже имѣетъ вѣсъ, и вѣсъ воздуха вовсе не столь ничтожно малъ, какъ обыкновенно думаютъ. Вѣсъ воздуха легко обнаружить уже съ помощью обыкновенныхъ „аптекарскихъ“ вѣсовъ. Сосудъ, содержавшій воздухъ, становится легче, если часть воздуха будетъ изъ него удалена.


6.

Какъ это сдѣлать? Можно воспользоваться напр. тѣмъ, что воздухъ п р и н а г р ѣ в а н і и въ открытомъ сосудѣ расширяется и частью выходитъ изъ сосуда. Въ самомъ дѣлѣ, если нагрѣвать склянку или, лучше, тонкостѣнную стеклянную „колбу“ (рис. 6), съ плотно прилаженною къ ней трубкой, конецъ которой опущенъ въ воду, то воздухъ будетъ выходить сквозь воду пузырями. Достаточно уже нагрѣванія рукою, чтобы это замѣтить. При нагрѣваніи же колбы пламенемъ спиртовой лампы, чрезъ воду, быстро слѣдуя одинъ за другимъ, проходитъ много пузырей.

Теперь, чтобы обнаружить в ѣ с ъ воздуха, поступимъ слѣдующимъ образомъ. „Уравновѣсимъ“ на вѣсахъ легкую колбу (вмѣстѣ съ плотно пригнанною пробкой), нагрѣемъ ее хорошенько въ пламени спиртовой или бензинной лампы, закупоримъ горячею и, давъ ей остыть, снова помѣстимъ на чашку вѣсовъ. Колба окажется замѣтно легче прежняго. Если же затѣмъ откроемъ ее, то въ нее войдетъ столько воздуха, сколько его вышло при нагрѣваніи: вѣсъ колбы возстановится.

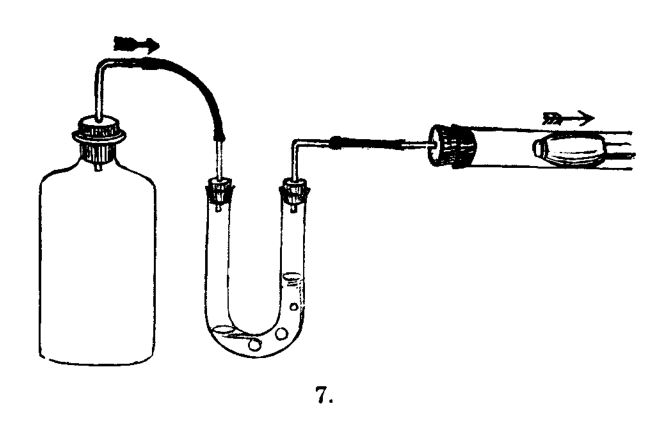
5*. Итакъ воздухъ имѣетъ весьма замѣтный вѣсъ. Любопытно было бы знать, сколько именно вѣситъ нѣкоторый опредѣленный объемъ воздуха, чтобы можно было сравнить его вѣсъ съ вѣсомъ другихъ, ближе намъ извѣстныхъ тѣлъ, напр. воды. Если бы въ предшествовавшемъ опытѣ мы опредѣлили, насколько именно уменьшился вѣсъ колбы послѣ нагрѣванія, а съ другой стороны—измѣрили бы объемъ вышедшаго воздуха, то уже могли бы приблизительно рѣшить нашъ вопросъ. Но тотчасъ мы узнаемъ другой способъ удаленія воздуха изъ сосуда, лучше ведущій къ цѣли.

Такъ какъ воздухъ имѣетъ вѣсъ, то верхніе слои его д а в я т ъ на нижніе: воздухъ, которымъ мы дышимъ, с ж а т ъ тяжестью всего находящагося надъ нимъ воздуха; каждый такъ называемый пустой сосудъ долженъ заключать въ себѣ воздухъ сжатый. Но мы видѣли, что воздухъ, будучи сжатъ, стремится расширяться подобно сжатой пружинѣ. Не станетъ-ли и обыкновенный окружающій насъ воздухъ расширяться, если ему будетъ дана къ тому возможность? Опытъ это подтверждаетъ. Если заткнемъ пробкою одинъ конецъ нашей трубки съ поршнемъ, оставивъ подъ нимъ немного воздуху, и станемъ в ы т я г и в а т ь поршень, то воздухъ расширится и займетъ в с е предоставленное ему пространство. Расширеніе воздуха можно сдѣлать замѣтнымъ для зрѣнія, примѣшавъ къ нему напр. табачнаго дыма, частички котораго будутъ перемѣщаться вмѣстѣ съ воздухомъ.

Вотъ еще опытъ. Присоединимъ плотно къ горлу склянки изогнутую въ видѣ буквы U стеклянную трубку (рис. 7), нальемъ въ нее немного воды и сообщимъ съ трубкою, въ которую вставленъ поршень. Выдвигая поршень, т. е. предо-

ставляя воздуху въ нашемъ приборѣ бóльшее пространство, мы замѣтимъ, что вода въ изогнутой трубкѣ станетъ выталкиваться расширяющимся воздухомъ, который затѣмъ начнетъ выходить изъ нея пузырями.

6*. Замѣчательно, что воздухъ занимаетъ все предоставленное ему пространство, к а к ъ б ы в е л и к о о н о н и б ы л о: нельзя указать границъ, далѣе которыхъ воздухъ пересталъ бы расширяться. Въ этомъ отношенiи онъ конечно отличается отъ всякой пружины, которая способна расширяться сама собою только до опредѣленной границы. Представимъ себѣ сосудъ величиною съ комнату и положимъ, что изъ него удаленъ весь воздухъ. Если бы въ такой сосудъ мы внесли столько атмосфернаго воздуха, сколько помѣщается въ наперсткѣ, то онъ тотчасъ расширился бы и занялъ бы все пространство сосуда.



7.

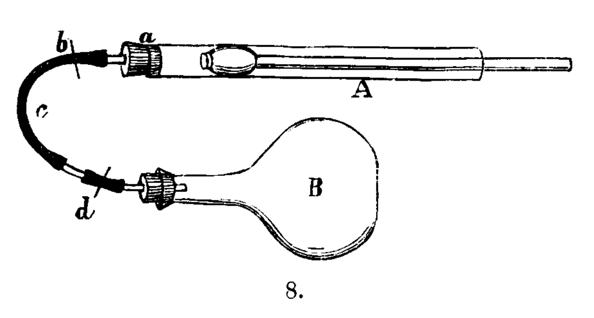
Измѣняется ли к о л и ч е с т в о воздуха при его сжатiи и расширенiи? Конечно нѣтъ. Сжимаясь или расширяясь, атмосферный воздухъ не остается прежнимъ воздухомъ: онъ становится тѣмъ „плотнѣе“, чѣмъ меньше занимаемый имъ объемъ, и тѣмъ „разрѣженнѣе“ или „рѣже“, чѣмъ больше пространство, на которое онъ распространяется.

Положимъ, что обыкновенный воздухъ, наполнявшiй какой-нибудь открытый сосудъ, расширился до объема въ 1000 разъ бóльшаго. Очевидно, что тогда лишь $^{1}/_{1000}$ доля прежняго воздуха останется въ сосудѣ.

7*. Теперь уже легко понять, какимъ образомъ можно значительно уменьшить количество воздуха въ сосудѣ. Надо

лишь дать этому воздуху возможность расширяться: въ сосудѣ его останется тѣмъ меньше, чѣмъ больше будетъ пространство, на которое воздухъ распространится.

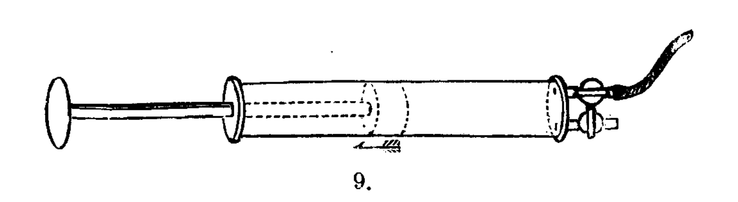
Проще всего это достигается помощью нашего цилиндра съ поршнемъ. Сообщимъ колбу *B* (рис. 8) посредствомъ резиновой трубки и пробки съ цилиндромъ *A*, поршень котораго сперва вдвинутъ до самаго конца; на трубку надѣнемъ упругiй зажимъ (на рисункѣ онъ обозначенъ чертою *b*), плотно запирающiй трубку, но открывающiйся при надавливанiи на него



8.

рукою. Прiоткрывъ зажимъ и вытягивая поршень, мы дадимъ выйти изъ колбы части бывшаго въ ней воздуха (большей или меньшей—смотря по чему?) Теперь, закрывъ зажимъ, вынемъ пробку (*a*) изъ цилиндра и снова втолкнемъ въ него поршень до конца; послѣ этого можно будетъ повторить сдѣланное вначалѣ. Съ каждымъ вытягиванiемъ поршня количество воздуха въ колбѣ будетъ становиться меньше. (Любопытно замѣтить, что если резиновая трубка *c*—обыкновенная тонкостѣнная, то она скоро сплющивается перевѣсомъ атмосфернаго давленiя). Чтобы отдѣлить колбу *B* съ разрѣженнымъ воздухомъ отъ цилиндра, пользуются другимъ зажимомъ (*d*), который запирается винтомъ.

Цилиндръ съ поршнемъ можно снабдить у основанiя двумя кранами, изъ которыхъ одинъ сообщалъ бы его съ колбою,



9.

а другой—съ наружнымъ воздухомъ (рис. 9); вытягивая и вдвигая поршень и дѣйствуя поперемѣнно кранами (въ какомъ именно порядкѣ?), можно достичь того, что въ колбѣ

останется лишь небольшая доля содержавшагося въ ней воздуха.

Приборъ, которымъ мы здѣсь пользовались для разрѣженія воздуха, есть простѣйшаго устройства воздушный насосъ. Обыкновенно въ немъ имѣются приспособленія, которыя дѣлаютъ ненужнымъ поперемѣнное поворачиваніе крановъ (т. наз. клапаны, о которыхъ впослѣдствіи). Усовершенствованными приборами этого рода удается удалить почти весь воздухъ изъ сосуда [1].

8*. Этотъ пріемъ и служитъ для нахожденія вѣса опредѣленнаго объема воздуха. Двѣнадцать кубическихъ футовъ обыкновеннаго комнатнаго воздуха вѣсятъ приблизительно фунтъ, т. е. 1 куб. футъ—около $^1/_{12}$ фун., или около 8 золотниковъ [2]. Чтобы сравнить вѣсъ воздуха съ вѣсомъ (равнаго объема) воды, надо имѣть въ виду, что куб. футъ воды вѣситъ 69 съ небольшимъ фунтовъ. Слѣд. комнатный воздухъ во столько разъ легче воды, во сколько 69 больше $^1/_{12}$-й, т. е. слишкомъ въ 800 разъ.

Понятно, что куб. футъ воздуха, сжатаго сильнѣе, чѣмъ обыкновенный, въ которомъ мы живемъ, будетъ вѣсить больше, а разрѣженнаго—меньше.

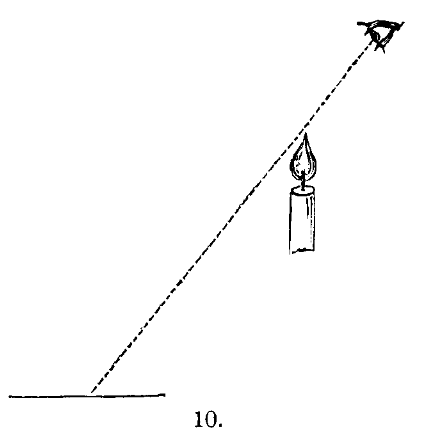
Теперь, зная размѣры комнаты, мы не затруднимся приблизительно вычислить вѣсъ помѣщающагося въ ней воздуха. Пусть напр. комната имѣетъ 12 арш. длины, 9 арш. ширины и 6 аршинъ вышины. Обративъ въ футы и перемноживъ, найдемъ объемъ комнаты$=28 \cdot 21 \cdot 14 = 8232$ куб. футамъ. Такой объемъ обыкновеннаго воздуха вѣситъ 17 слишкомъ пудовъ.

9*. Таковъ окружающій насъ воздухъ. Онъ занимаетъ мѣсто, сопротивляется сдавливанію и имѣетъ вѣсъ. Мы можемъ считать его физическимъ тѣломъ съ неменьшимъ правомъ, чѣмъ напр. воду или желѣзо. Невидимость, легкость и большая подвижность воздуха — вотъ что очень затрудняетъ наше знакомство съ нимъ. Въ дѣйствительности воздухъ имѣетъ еще много свойствъ, которыя сближаютъ его

[1] Съ помощью воздушнаго насоса мы отнюдь не „вытягиваемъ“ воздуха, какъ обыкновенно (неправильно) говорятъ: вытягивая поршень, мы лишь освобождаемъ подъ нимъ пространство — даемъ возможность воздуху занять большій объемъ.

[2] Это приблизительно вѣсъ двухъ мѣдныхъ пятаковъ.

съ тѣлами, доступными нашему зрѣнію и осязанію. Нельзя даже сказать, чтобы воздухъ всегда и вездѣ былъ невидимъ. Напр. мы замѣчаемъ глазомъ теплый воздухъ, струящійся надъ сильно нагрѣтой почвой, надъ пылающимъ костромъ или другими горячими предметами. Поставимъ зажженную свѣчу на столъ и станемъ смотрѣть поверхъ пламени, какъ показываетъ рис. 10, на хорошо освѣщенную (напр. дневнымъ свѣтомъ) печатную страницу: мы отчетливо увидимъ дрожаніе подымающагося надъ пламенемъ теплаго воздуха. При сильномъ освѣщеніи, напр. солнечными лучами, струйки горячихъ газовъ, подымающихся надъ пламенемъ свѣчи, даютъ явственную тѣнь на бѣлой бумагѣ.



10.

Надъ земною поверхностью воздухъ простирается вверхъ на многіе десятки верстъ, образуя собою воздушную оболочку земли, ея атмосферу. Если въ большой комнатѣ помѣщается не одинъ десятокъ пудовъ воздуха, то можно представить себѣ, какъ великъ долженъ быть вѣсъ всей земной атмосферы. Мы живемъ на днѣ этого „воздушнаго океана“, и вся наша жизнь тѣснѣйшимъ образомъ связана съ его свойствами. Но не достаточно сказать, что мы дышимъ воздухомъ: многое на земной поверхности происходило бы совсѣмъ иначе, если бы земля не имѣла атмосферы, или если бы эта атмосфера имѣла другія свойства, чѣмъ наша. Прежде всего, такъ какъ окружающій насъ воздухъ сжатъ громадною тяжестью всѣхъ выше лежащихъ частей атмосферы, то онъ въ свою очередь долженъ давить на всѣ земные предметы. Мы потомъ увидимъ, какими разнообразными и сильными дѣйствіями можетъ проявляться это такъ называемое атмосферное давленіе.

Въ началѣ § 1 сказано, что съ первыхъ же дней нашего дѣтства мы постоянно наблюдаемъ, учимся, незамѣтно *для самихъ себя.* Однако это очень замѣтно для взрослыхъ, наблюдающихъ

за ребенкомъ. Что означаетъ общая склонность маленькихъ дѣтей все разсматривать, разбирать (часто ломая), разспрашивать, „приставать" съ вопросами?—**2.** При погруженіи опрокинутаго стакана въ воду, послѣдняя *отчасти входитъ* въ стаканъ (см. рис. 4), и воды входитъ тѣмъ больше, чѣмъ глубже стаканъ погруженъ. Чѣмъ объяснить это?—**4.** Можно-ли нагрѣваніемъ удалить *весь* воздухъ изъ сосуда? (Чѣмъ тогда былъ бы выгнанъ изъ сосуда *послѣдній* остатокъ воздуха?). При той температурѣ, до которой можно прогрѣть воздухъ въ колбѣ пламенемъ бензинной или спиртовой лампы, онъ расширяется до объема приблизительно вдвое бо́льшаго, чѣмъ первоначальный. Какая доля прежняго воздуха останется въ колбѣ послѣ нагрѣванія?—Какъ воспользоваться велосипеднымъ насосомъ для обнаруженія вѣсомости воздуха?—**5** и **6.** Можно ли взять неполную бутылку воздуха (какъ берутъ неполную бутылку жидкости), если остальная часть бутылки ничѣмъ не занята?—Если въ 1-мъ опытѣ § 5 подъ поршнемъ вмѣсто воздуха была бы *вода*, то стала ли бы она расширяться подобно воздуху при вытягиваніи поршня?—Если воздухъ постоянно стремится занять большій объемъ, то почему онъ остается въ открытой склянкѣ, а не выходитъ изъ нея наружу?—Открытый сосудъ былъ нагрѣтъ, затѣмъ сталъ охлаждаться: какая причина заставляетъ воздухъ входить въ него по мѣрѣ его охлажденія?—**7.** Положимъ, что воздухъ, наполнявшій собою открытую склянку вмѣстимостью въ 1 куб. дюймъ, расширился до объема въ 1 куб. футъ; какая доля прежняго воздуха останется въ склянкѣ? *Отв.* $\frac{1}{1728}$.—Какая доля прежняго воздуха осталась бы въ сосудѣ вмѣстимостью въ 54 куб. дюйма, если бы этому воздуху дали расширяться до объема въ куб. сажень? *Отв.* $\frac{1}{10976}$ или округленно $\frac{1}{11000}$.—**8.** Сколько приблизительно куб. футовъ комнатнаго воздуха вѣсятъ одинъ пудъ? *Отв.* 480.—Вычислить вѣсъ воздуха въ ничѣмъ незанятой комнатѣ, которой длина 35, ширина 30, а вышина 10 футовъ. *Отв.* $\frac{35 \cdot 30 \cdot 10}{12 \cdot 40} = 21^7/_8$ пуд.—Сколько золотниковъ комнатнаго воздуха вмѣщаетъ объемная мѣра, называемая *ведромъ? Отв.* $\frac{750 \cdot 8}{1728}$, или почти $3^1/_2$ золотника. [1]—Въ повседневной жизни воздухъ часто называется „тяжелымъ, густымъ" или же „легкимъ"—смотря по тому, какъ имъ дышится. Что въ дѣйствительности надо понимать подъ воздухомъ болѣе тяжелымъ и болѣе легкимъ, нежели обыкновенный окружающій насъ воздухъ?—**9.** Какова должна быть плотность воздуха на большой высотѣ надъ землей сравнительно съ находящимся близъ земной поверхности? Какая особенная трудность судить о *высотѣ атмосферы* (о толщинѣ окружающаго землю воздушнаго слоя) происходитъ отъ того, что воздухъ становится все рѣже и рѣже въ верхнихъ ея слояхъ? (См. § 6).

[1] Не слѣдуетъ упускать изъ виду (что однако же случается) разницы между ведромъ въ смыслѣ объемной мѣры (750 куб. дюйм.) и ведромъ какъ *посудой*, вмѣстимость которой можетъ быть очень различна.

II.

О физическихъ тѣлахъ вообще.

Твердыя и жидкія тѣла.

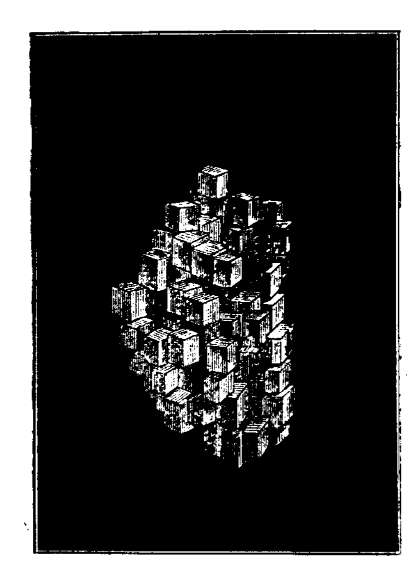
10*. Не смотря на разнообразіе физическихъ тѣлъ, которое каждому бросается въ глаза, въ нихъ есть и сходства. При внимательномъ наблюденіи удается открыть въ извѣстныхъ уже намъ тѣлахъ новыя свойства и вмѣстѣ съ тѣмъ новыя сходства. Мы видѣли напримѣръ, что даже в о з д у х ъ, столь рѣзко отличающійся отъ дерева, камней, металловъ, воды, имѣетъ съ ними нѣчто общее.

Сходные признаки позволяютъ намъ соединять тѣла въ отдѣлы или классы, и это очень облегчаетъ первоначальное знакомство съ ними.

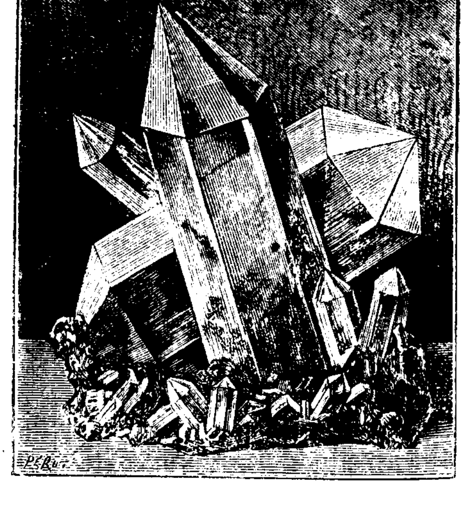
11. Камень, кусокъ желѣза, стекла, дерева, пробки и т. п., при всѣхъ своихъ различіяхъ, имѣютъ то общее, что сохраняютъ ф о р м у, которую получили въ природѣ или вслѣдствіе искусственной обработки; напротивъ, вода, спиртъ, керосинъ, ртуть и т. п. очень легко мѣняютъ ее, принимая обыкновенно форму сосуда, въ которомъ содержатся. Тѣла перваго рода называются „твердыми", а второго—„жидкими" (жидкостями). Въ этомъ смыслѣ кусокъ хлѣбнаго мякиша, воска или сала—„твердыя" тѣла, хотя конечно они мягки сравнительно съ желѣзомъ или стекломъ.

Любопытно, что многія твердыя тѣла могутъ, помимо искусственной обработки, сами принимать опредѣленныя формы, отличающіяся извѣстною правильностью, какъ показываютъ приложенные рисунки (11 и 12). Тѣла въ такихъ многогранныхъ формахъ, какъ бы изготовленныя искусною рукою мастера, называются к р и с т а л л а м и. Очень разно-

образные по виду и величинѣ кристаллы въ изобиліи находятъ готовыми въ природѣ. Но есть не мало случаевъ на-

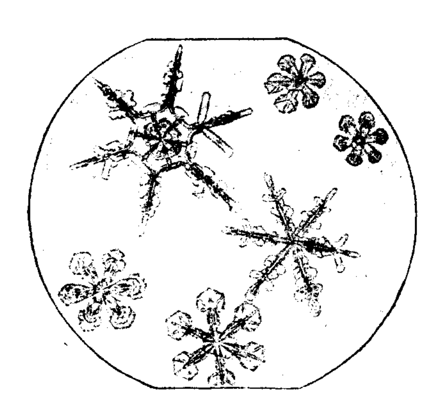


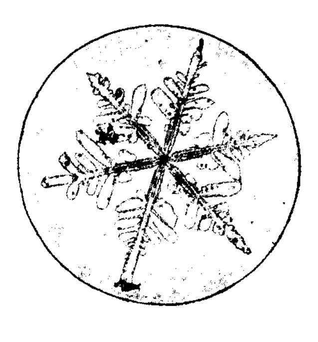
11. Сростокъ кристалловъ обыкновенной соли.



12. Группа кристалловъ горнаго хрусталя.

блюдать и самое образованіе кристалловъ. При медленномъ испареніи (высыханіи) воднаго раствора обыкновенной соли,





13. Увеличенное изображеніе снѣжинокъ.

соль выдѣляется изъ жидкости въ видѣ прямоугольныхъ тѣлецъ, по формѣ близкихъ къ кубикамъ. Когда начинаетъ замерзать стоячая вода (напримѣръ лужа), на ея поверхности

появляются длинныя иглы—кристаллы льда. Подобные же ледяные кристаллы образуются зимою на обмерзающемъ оконномъ стеклѣ и часто соединяются въ причудливые узоры. Снѣжинки (рис. 13) также состоятъ изъ сросшихся вмѣстѣ ледяныхъ кристалловъ.

12. Частички жидкости гораздо подвижнѣе, нежели частички твердаго тѣла: онѣ легко скользятъ одна около другой. Поэтому уже отъ собственной тяжести (давленія верхнихъ слоевъ на нижніе) жидкость растекается, если не встрѣчаетъ преграды, или принимаетъ случайную форму того сосуда, въ который налита. Однако мы знаемъ, что малое количество жидкости часто принимаетъ форму болѣе или менѣе близкую къ шаровой (дождевыя капли, мелкія капли росы на листьяхъ или брызги воды на масляной бумагѣ, мелкія ртутныя капли); значитъ и жидкости не совсѣмъ лишены способности принимать сами собою опредѣленную форму.

Воздухообразныя (газообразныя) тѣла.

13. Обратимся теперь къ нѣсколькимъ примѣрамъ тѣлъ, которыя въ извѣстныхъ отношеніяхъ подобны воздуху и которыя называются воздухообразными или газообразными.

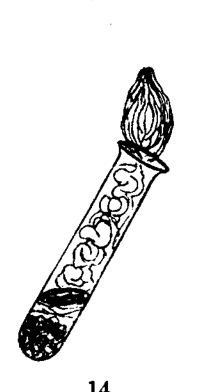
Изъ кваса, пива, сельтерской воды и другихъ шипучихъ напитковъ при откупориваніи бутылки выдѣляется воздухообразное тѣло, отличающееся отъ атмосфернаго воздуха тѣмъ, что зажженая свѣча въ немъ тотчасъ гаснетъ. Оно называется углекислымъ газомъ (углекислотою). Обольемъ въ склянкѣ содовые порошки (смѣсь соды и кислоты) водою и, давъ имъ прошипѣть, внесемъ въ склянку зажженный огарокъ или горящую лучину: пламя погаснетъ. Склянка съ углекислымъ газомъ кажется пустою, такъ какъ онъ, подобно воздуху, обыкновенно невидимъ. Тотъ же газъ выдѣляется при обливаніи мѣла какою нибудь кислотою (даже уксусомъ).

Другой газъ, рѣзко отличающійся по свойствамъ отъ воздуха и отъ углекислаго газа, легко получить, обливая въ пробирномъ цилиндрикѣ нѣсколько кусочковъ цинка соляною кислотою. Жидкость сильно зашипитъ и начнетъ выдѣлять газъ, который можно будетъ зажечь у

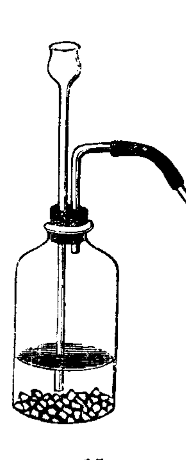
отверстія пробирки (рис. 14). Этотъ газъ называется водородомъ.

Обращеніе съ газами требуетъ особенныхъ пріемовъ, знаніе которыхъ вмѣстѣ съ тѣмъ лучше знакомитъ насъ съ ихъ свойствами. Поэтому разсмотримъ нѣсколько ближе, какъ добываются два названные газа для опытовъ, и какъ производятся самые опыты съ ними.

14*. Чтобы добыть углекислый газъ, берутъ обыкновенно мѣлъ или (лучше) мраморъ и соляную кислоту. Куски мрамора обливаютъ разведенной соляною кислотою въ склянкѣ (рис. 15), закупоренной пробкою, сквозь которую проходятъ: 1) длинная трубка съ воронкой, служащая для приливанія воды и кислоты, и 2) стеклянная газоотводная трубка, по которой углекислый газъ можетъ выходить изъ прибора; надѣвъ на нее резиновую трубку, легко направить газъ, куда нужно. Чтобы наполнить какую-нибудь склянку углекислымъ газомъ, достаточно опустить эту выходную трубку до дна склянки и выждать нѣкоторое время, пока воздухъ въ ней не будетъ вытѣсненъ углекислымъ газомъ. Но можно воспользоваться и слѣдующимъ пріемомъ, при которомъ газъ менѣе смѣшивается съ окружающимъ воздухомъ (что часто имѣетъ важное значеніе при опытахъ съ газами).



14.

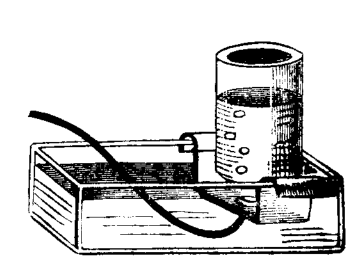


15.

Наполнивъ сосудъ (склянку, цилиндръ) водою, закроемъ его горло ладонью или прижмемъ къ нему клочекъ бумаги и опрокинемъ отверстіемъ въ воду, послѣ чего отнимемъ руку: вода не выльется, такъ какъ поддерживается давленіемъ воздуха на поверхность воды въ наружномъ сосудѣ. Введемъ теперь въ горло конецъ трубки, по которой притекаетъ уклекислый газъ: поднимаясь сквозь воду пузырями, онъ скоро вытѣснитъ собою воду изъ сосуда (рис. 16).

15*. Опыты съ углекислымъ газомъ. Горящая свѣча или лучина мгновенно гаснутъ въ склянкѣ съ углекислымъ газомъ.

Углекислый газъ замѣтно (въ $1^1/_2$ раза) тяжелѣе атмосфернаго воздуха, что легко обнаружить помощью аптекарскихъ вѣсовъ. Поэтому его можно переливать въ воздухѣ изъ одного стакана въ другой на подобіе жидкости. (Что газъ дѣйствительно переливается, легко доказать посредствомъ зажженой свѣчи или спички). На томъ же свойствѣ углекислаго газа основывается и описанный выше простой пріемъ наполненія имъ склянки: углекислый газъ, какъ болѣе тяжелый, вытѣсняетъ воздухъ изъ сосуда.



16.

Обратимъ вниманіе еще на слѣдующее явленіе, которое позволяетъ обнаружить даже очень малыя количества углекислаго газа. Если взболтать углекислый газъ съ известковою водой (растворъ извести въ водѣ, имѣющійся въ каждой аптекѣ), то прозрачная жидкость дѣлается похожею на молоко и, постоявъ, даетъ на днѣ бѣлый осадокъ.

Мы можемъ тотчасъ же воспользоваться этимъ для доказательства, что въ выдыхаемомъ нами воздухѣ всегда содержится нѣкоторая примѣсь углекислаго газа. Сто́итъ лишь продувать воздухъ изо рта, помощью стеклянной трубки, чрезъ известковую воду: скоро въ ней появится та же бѣлая муть, а потомъ и осадокъ.

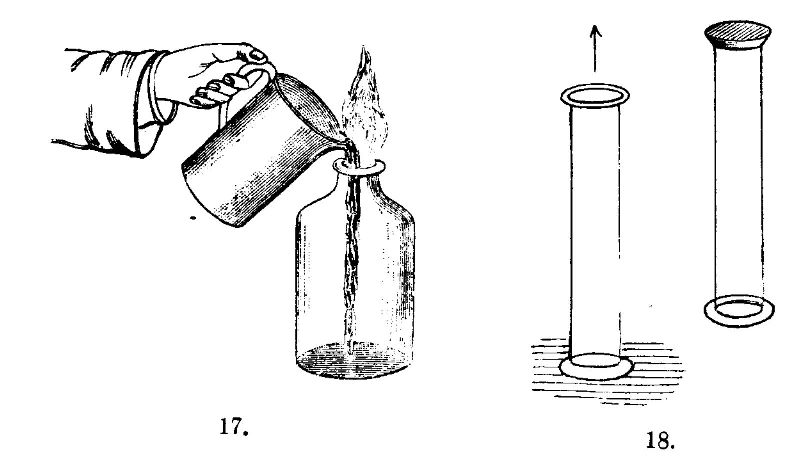
Выдѣленіе живыми существами углекислаго газа—одна изъ причинъ того, что атмосферный воздухъ (даже самый чистый) всегда содержитъ углекислый газъ.

16*. Для добыванія водорода матеріалами обыкновенно служатъ разведенная водою сѣрная или соляная кислота и металлъ цинкъ. Приборъ употребляется точно такой же, какъ для добыванія углекислаго газа. Склянки или цилиндры для опытовъ наполняютъ „надъ водою", по описанному выше (при углекисломъ газѣ) пріему.

Опыты съ водородомъ.—Зажженный на воздухѣ, водородъ горитъ голубоватымъ почти не свѣтящимъ пламенемъ. Если въ склянку съ водородомъ, у отверстія которой газъ уже зажженъ, вливать воду, то она будетъ вытѣснять водородъ изъ склянки и пламя увеличится (рис. 17).

Вѣсы показали бы намъ, что водородъ *гораздо легче* воздуха. Онъ легче атмосфернаго воздуха въ $14^1/_2$ разъ; это самое легкое изъ всѣхъ извѣстныхъ тѣлъ.

По легкости водородъ быстро уходитъ изъ цилиндра, поставленнаго вверхъ отверстіемъ, но сохраняется нѣкоторое



17. 18.

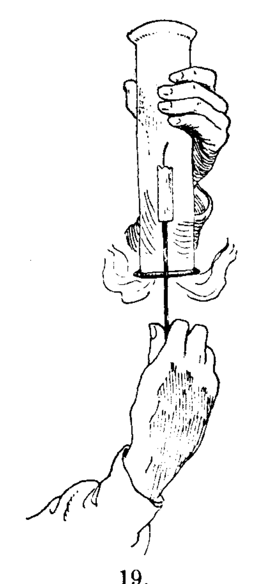
время, если держать цилиндръ отверстіемъ внизъ (рис. 18). Надо впрочемъ замѣтить, что водородъ во всякомъ случаѣ довольно быстро смѣшивается съ воздухомъ: опыты съ нимъ требуютъ нѣкоторой сноровки. [1]

Если въ цилиндръ съ водородомъ внести на проволокѣ зажженый огарокъ, то водородъ загорится у отверстія цилиндра, а свѣча въ водородѣ погаснетъ (рис. 19). Если медленно вынуть свѣчу, то она загорится о водородное пламя и снова погаснетъ, будучи внесена внутрь цилиндра. *Тѣло, горящее въ воздухѣ, въ водородѣ гаснетъ.*

Чистый водородъ—газъ безъ всякаго запаха, чего нельзя сказать о томъ газѣ, который добывается изъ обыкновенныхъ продажныхъ матеріаловъ.

[1] Смѣсь водорода съ воздухомъ можетъ при зажиганіи дать взрывъ—не всегда безопасный. Поэтому прежде, чѣмъ зажигать струю водорода, вытекающую изъ аппарата, непремѣнно слѣдуетъ предварительно наполнить имъ—надъ водою—пробирный цилиндрикъ и испытать, загорается ли водородъ спокойно или со вспышкою; въ послѣднемъ случаѣ надо выждать нѣкоторое время, давъ водороду выдѣляться изъ аппарата, а потомъ повторить пробу.

17. Итакъ воздухообразныя тѣла, даже будучи невидимыми и неощутимыми (когда они въ покоѣ), могутъ тѣмъ не менѣе отличаться другъ отъ друга многими свойствами. Надо замѣтить, что есть газы съ сильнымъ *запахомъ* (напр. газъ, образующійся при горѣніи сѣры, сѣрной спички; газы, отъ которыхъ зависитъ запахъ выгребныхъ ямъ, конюшенъ, тухлыхъ яицъ) и такіе, которые имѣютъ *цвѣтъ*.



19.

Разсмотрѣнные нами примѣры газовъ ясно показываютъ, что разнообразіе свойствъ наблюдается не только въ томъ, что́ мы можемъ *видѣть*: очень многіе газы невидимы (по крайней мѣрѣ при обычныхъ условіяхъ). Если бы предъ нами стояли три склянки, наполненныя хотя бы воздухомъ, углекислымъ газомъ и водородомъ, то съ виду мы не замѣтили бы между ними никакой разницы; тѣмъ не менѣе свойства этихъ газовъ, какъ мы видѣли, очень различны.

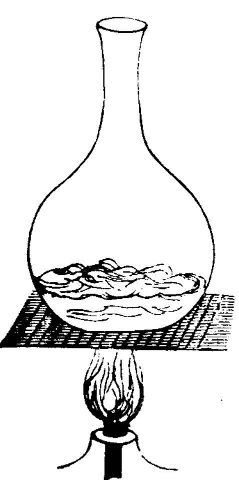
Отличительная особенность всѣхъ газообразныхъ тѣлъ — ихъ постоянное стремленіе расширяться, стремленіе занять какъ можно бо́льшій объемъ. Газъ всегда *давитъ* изнутри на стѣнки заключающаго его сосуда. Самое знакомство съ газами едва ли было бы возможно, если бы повсемѣстное на землѣ присутствіе воздуха не замедляло ихъ расширенія. Въ самомъ дѣлѣ, не будь воздуха, каждый выдѣлившійся новый газъ тотчасъ разносился бы въ стороны на далекое пространство.

Газы чрезвычайно легко смѣшиваются между собою и проникаютъ сквозь малѣйшія отверстія. Поэтому сохранять газы сколько-нибудь продолжительное время можно лишь въ плотно закупоренныхъ склянкахъ или особо устроенныхъ газохранителяхъ

18*. Къ газообразнымъ тѣламъ относятся также *пары* воды, спирта и другихъ жидкостей. Если вскипятить воду въ объемистой колбѣ (рис. 20), то паръ скоро наполнитъ собою всю свободную часть колбы. Она кажется пустою, потому что водяной паръ самъ по себѣ *невидимъ*. То лег-

кое сѣроватое вещество, которое клубами выходитъ изъ колбы, и которое неправильно называютъ паромъ въ повседневной жизни (нерѣдко даже смѣшивая его съ дымомъ), не есть паръ, а собраніе мельчайшихъ частицъ жидкой воды, происшедшихъ уже чрезъ охлажденіе пара въ воздухѣ (таковы именно туманъ, облако). Атмосферный воздухъ всегда содержитъ бо́льшую или меньшую примѣсь невидимаго водяного пара (какъ это обнаружить?), который превращается въ туманъ и водяныя капли (росу, дождь) при достаточномъ охлажденіи.





20.

Легкоплавкіе кристаллы іода при подогрѣваніи на огнѣ въ колбѣ даютъ паръ красиваго темнофіолетоваго цвѣта.

Различныя «состоянія» одного и того же тѣла.

19*. Одно и то же тѣло мы часто знаемъ и въ твердомъ и въ жидкомъ видѣ. Иногда оно является намъ и твердымъ и жидкимъ, и воздухообразнымъ (вода). Обыкновенно тѣла переходятъ изъ одного „состоянія“ въ другое вслѣдствіе нагрѣванія или охлажденія. Переходъ твердаго тѣла въ жидкое въ такихъ случаяхъ называется „плавленіемъ“ (таяніе льда, воска, плавленіе олова и др.), а въ газообразное — испареніемъ.

Называя желѣзо твердымъ тѣломъ, ртуть—жидкостью, а воздухъ—газомъ, мы имѣемъ въ виду обычное состояніе каждаго изъ этихъ тѣлъ. Но уже одинъ примѣръ воды, являющейся намъ въ трехъ состояніяхъ въ зависимости отъ той или иной степени нагрѣтости, показываетъ, какъ условны могутъ быть подобныя названія, и какое важное значеніе имѣетъ здѣсь степень нагрѣтости тѣла, его „температура“.

20*. Нѣкоторыя твердыя тѣла передъ плавленіемъ настолько размягчаются, что ихъ легко подвергать тогда различнымъ обработкамъ. Таковы напр. желѣзо, стекло. Тонкую стеклянную трубку легко размягчить уже въ пламени обыкновенной спиртовой лампы. Тогда можно придать трубкѣ ту или иную форму: согнуть, растянуть или запаять ее. Въ пламени достаточно сильной (т. наз. паяльной) лампы стекло становится полужидкимъ, такъ что съ конца трубки можно выдуть шарикъ, дѣлать изъ стекла тонкія нити и пленки.[1] Изъ полужидкой стеклянной массы, получаемой на стеклянныхъ заводахъ, съ помощью желѣзныхъ формъ изготовляютъ такимъ образомъ различную посуду.[2]

Объ объемѣ тѣлъ и единицахъ протяженія.

21. Всякое физическое тѣло занимаетъ часть пространства и сопротивляется проникновенію другого тѣла въ это пространство. Безъ этого свойства мы не можемъ представить себѣ „вещественнаго предмета“.

Часть пространства, занимаемая тѣломъ, называется его объемомъ.[3] И въ физикѣ, и въ житейской практикѣ постоянно приходится встрѣчаться съ задачей сравненія и измѣренія объемовъ. Посмотримъ, какъ опредѣляется объемъ твердыхъ тѣлъ и жидкостей въ нѣсколькихъ простѣйшихъ случаяхъ.

22*. Положимъ, въ бутылкѣ и стаканѣ налита жидкость, и надо узнать, во сколько разъ объемъ жидкости въ первомъ сосудѣ больше, нежели во второмъ. Для этого вольемъ жидкости напр. въ цилиндры съ дѣленіями на равныя (равнообъемныя) части. Если жидкость, вылитая изъ бутылки, заняла 30 дѣленій, а изъ стакана 12, то первый объемъ на $2^1/_2$ раза больше второго.

Равныя части, помѣченныя на нашемъ цилиндрѣ, могутъ быть при этомъ совершенно произвольны. Но для удобства

---

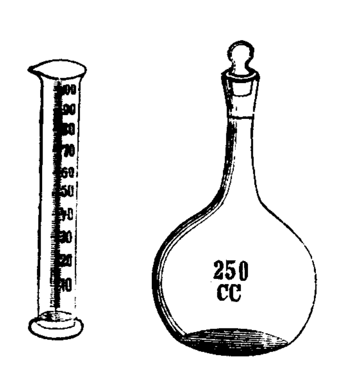
[1] Нѣкоторое умѣнье (легко пріобрѣтаемое) обращаться со стеклянными трубками очень полезно при составленіи многихъ простыхъ приборовъ для физическихъ и химическихъ опытовъ.

[2] Посѣщеніе кузницы и стекляннаго завода настолько интересно и поучительно, что слѣдуетъ пользоваться всякимъ представляющимся къ тому случаемъ.

[3] Не должно смѣшивать выраженій „объемъ“ и „обхватъ“. При одномъ и томъ же объемѣ предметъ можетъ имѣть множество обхватовъ.

ихъ обыкновенно дѣлаютъ такъ, чтобы объемъ жидкости, помѣщающейся въ промежуткѣ между двумя чертами, равнялся какой-либо общепринятой кубической единицѣ или составлялъ опредѣленную часть ея.

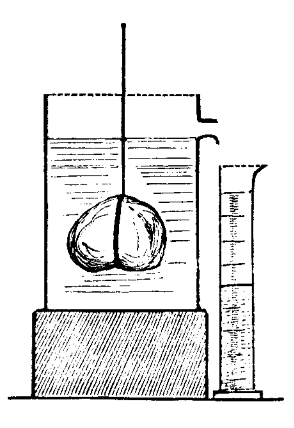
Представимъ себѣ пустой внутри кубикъ, каждое ребро котораго имѣетъ ровно 1 дюймъ длины. Вмѣстимость такого кубика будетъ одинъ кубическій дюймъ. Наполнивъ его до краевъ водою, выльемъ воду въ стеклянный сосудъ, напр. кружку, и отмѣтимъ чертою высоту воды. Затѣмъ вторично наполнимъ нашъ кубикъ и опять выльемъ въ кружку, отмѣтивъ снова уровень воды, и т. д. Мы получимъ тогда сосудъ, раздѣленный, какъ говорятъ, на „кубическіе дюймы“. Выливая въ него жидкость, мы прямо узнаемъ объемъ ея въ кубическихъ дюймахъ. Такіе измѣрительные приборы (изготовляемые, надо замѣтить, менѣе кропотливымъ и болѣе точнымъ путемъ, чѣмъ упомянутый выше), называются градуированными сосудами, мензурками и пр.; они постоянно употребляются въ лабораторіяхъ и аптекахъ. Для отмѣриванія жидкости можно также пользоваться измѣрительными склянками или колбами опредѣленной вмѣстимости (считая до мѣтки, сдѣланной на шейкѣ). Когда объемъ жидкости великъ, онъ измѣряется ведрами, бочками и проч.



21. Градуированный цилиндръ и измѣрительная колба.

23*. Твердыя тѣла могутъ имѣть очень различную форму. Геометрія учитъ насъ сравнивать объемы только нѣкоторыхъ правильныхъ тѣлъ. Какъ сравнить объемъ двухъ тѣлъ любой формы, напр. двухъ камней? Если погрузимъ камень въ стаканъ, до краевъ наполненный водою, то изъ стакана выльется по объему столько воды, сколько вытѣснено (замѣщено) камнемъ: объемъ ея уже можно измѣрить мензуркою. Чтобы удобно было собирать эту воду, хорошо взять кружку съ придѣланной къ ней сверху боковой трубочкой (рис. 22). Замѣтивъ число дѣленій, занимаемыхъ въ мензуркѣ вытѣсненной водою, сдѣлаемъ то же со вторымъ камнемъ. Тогда легко найдемъ, во сколько разъ объемъ одного больше, чѣмъ другого. Если мензурка раздѣлена на куб. дюймы, то мы вмѣстѣ съ тѣмъ прямо узнаемъ, сколькимъ куб. дюймамъ равняются объемы каждаго изъ взятыхъ нами камней.

24*. Мы видѣли выше, что объемныя единицы производятся отъ линейныхъ, или единицъ длины. Кубическій дюймъ напр. есть кубъ, котораго ребро равняется линейному дюйму. Вообще объемная единица есть кубъ, котораго ребро равно какой-либо линейной единицѣ. Выборъ же линейныхъ единицъ зависитъ отъ соглашенія, и существуютъ различныя системы мѣръ, кромѣ русской. Здѣсь мы будемъ пользоваться еще такъ называемыми метрическими или десятичными мѣрами, которыя, благодаря ихъ удобствамъ, мало-по-малу входятъ во всеобщее употребленіе. (Таблицы русскихъ и метрическихъ мѣръ имѣются во всякомъ руководствѣ ариѳметики).



22.

Въ метрической системѣ единицею длины служитъ метръ, который дѣлится на 10 дециметровъ, 100 сантиметровъ, 1000 миллиметровъ. Длина въ тысячу метровъ называется километромъ.[1] Метръ=$22^1/_2$ вершкамъ, что немного меньше полусажени; километръ нѣсколько меньше версты ($^{15}/_{16}$ версты). Поверхности измѣряются квадратными метрами, кв. дециметрами и проч., а объемы—кубическими метрами, куб. дециметрами и т. д. Весьма употребительна объемная мѣра, называемая литромъ; она (почти точно) равна вмѣстимости куба, ребро котораго 1 дециметръ, т. е. 1 куб. дециметру. Градуированные сосуды (рис. 21) чаще всего изготовляются для единицъ метрической системы.

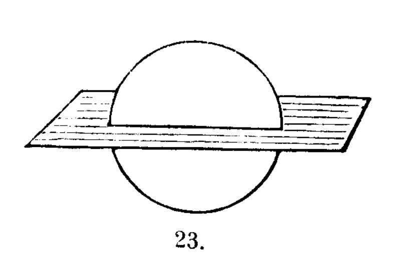
[1] Сокращенныя обозначенія: метръ—м., дециметръ—дцм., сантиметръ—см., миллиметръ—мм., километръ—км.

Измѣненіе объема тѣлъ отъ сдавливанія, отъ нагрѣванія и охлажденія.

25. Объемъ каждаго тѣла болѣе или менѣе уменьшается отъ сдавливанія. Мы видѣли, что, сдавливая воздухъ въ трубкѣ съ поршнемъ, можно значительно уменьшить его объемъ. Достаточно сильнымъ давленіемъ можно уменьшить объемъ обыкновеннаго воздуха въ нѣсколько сотъ разъ. Другіе газы тоже могутъ быть сильно уменьшены въ объемѣ сдавливаніемъ. Напротивъ, твердыя тѣла и жидкости весьма мало сжимаемы: требуется очень сильное сдавливаніе (для жидкостей конечно въ прочномъ со всѣхъ сторонъ закрытомъ сосудѣ) или же нѣкоторые особенные пріемы, чтобы уменьшеніе объема сдѣлалось замѣтнымъ для глаза.

26*. Объемъ тѣла измѣняется также отъ нагрѣванія и охлажденія или, какъ мы еще будемъ говорить, съ перемѣною его „температуры". Примѣръ расширенія воздуха мы уже имѣли выше (4). Твердыя и жидкія тѣла, за немногими исключеніями, при нагрѣваніи расширяются, а при охлажденіи сжимаются. Это доказывается множествомъ наблюденій и опытовъ. Вотъ нѣкоторые изъ нихъ.

Металлическій шарикъ, только что проходящій сквозь металлическое же кольцо при комнатной температурѣ, не пройдетъ, если достаточно сильно нагрѣемъ его на огнѣ. По охлажденіи онъ снова будетъ проходить сквозь кольцо. (Сходныя явленія происходили бы при достаточно сильномъ охлажденіи кольца). Проще взять металлическую пластинку съ прямоугольнымъ прорѣзомъ такихъ размѣровъ, чтобы сквозь него только что проходилъ металлическій кружокъ, напримѣръ мѣдный пятакъ (рис. 23). Если разогрѣемъ пятакъ, то онъ не пройдетъ сквозь прорѣзъ.

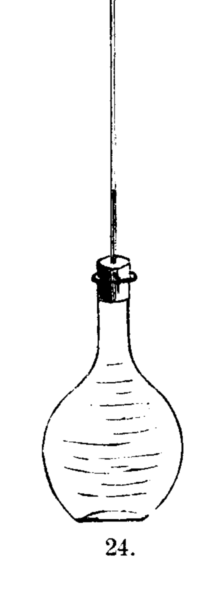


23.

27*. Чтобы наблюдать расширеніе жидкостей, напримѣръ воды, возьмемъ колбочку съ тонкой трубкой, вставленной въ нее при помощи пробки (рис. 24). Наполнивъ приборъ комнатной водою (такъ, чтобы она заняла и часть трубки),

станемъ нагрѣвать колбу, погружая ее въ горячую воду: жидкость въ трубочкѣ начнетъ подыматься. При охлажденіи замѣтимъ обратное. Однако вода представляетъ ту интересную особенность, что она сжимается лишь при охлажденіи до 3 съ небольшимъ градусовъ по нашему обыкновенному термометру; при дальнѣйшемъ же охлажденіи она расширяется вплоть до самаго замерзанія. Къ этому мы впрочемъ еще вернемся ниже.

Съ расширеніемъ и сжатіемъ ртути при измѣненіи температуры мы имѣемъ дѣло въ нашихъ термометрахъ. По перемѣщенію ртутнаго столбика именно и судятъ о перемѣнахъ температуры.



24.

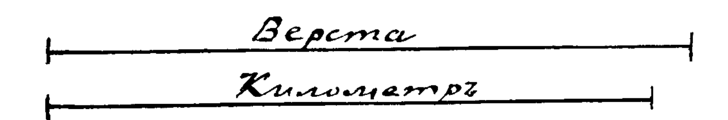
28. Въ повседневной жизни мы часто встрѣчаемся съ примѣрами расширенія и сжатія тѣлъ при измѣненіи температуры и имѣемъ достаточно случаевъ наблюдать это явленіе (нѣкоторые примѣры см. въ „вопросахъ" къ §§ 26, 27). Не надо лишь смѣшивать съ нимъ другихъ явленій, сходныхъ только повидимому. Сюда напримѣръ относится весьма замѣтное увеличеніе объема частей нашего тѣла при ихъ разгоряченіи: кольцо, свободно надѣвающееся на палецъ руки въ обыкновенномъ ея состояніи, можетъ оказаться тѣснымъ, если рука горяча. Этого рода явленія сложнѣе тѣхъ, о которыхъ идетъ рѣчь: они зависятъ главнымъ образомъ отъ прилива крови къ разгоряченнымъ органамъ и болѣе сходны съ разбуханіемъ скважистыхъ предметовъ вслѣдствіе впитыванія жидкости. Съ другой стороны, нѣкоторыя скважистыя тѣла при продолжительномъ нагрѣваніи сжимаются (съеживаются) вслѣдствіе усыханія, т. е. испаренія воды, содержавшейся въ скважинахъ: такъ сжимается сырая глина, съеживаются многіе плоды; здѣсь мы опять имѣемъ дѣло съ явленіями совсѣмъ иного рода.

29. Чтобы объяснить себѣ измѣненіе объема тѣлъ какъ отъ сдавливанія, такъ и вслѣдствіе перемѣнъ температуры, проще всего предположить, что тѣла состоятъ изъ отдѣльныхъ частицъ, раздѣленныхъ промежутками. Частицы эти должны быть чрезвычайно малы: ихъ не удается видѣть

въ сильнѣйшіе микроскопы. При сдавливаніи, промежутки между частицами конечно уменьшаются. Сближеніе частицъ, надо полагать, происходитъ и при пониженіи температуры. Нагрѣваніе, напротивъ, удаляетъ ихъ другъ отъ друга. Въ обоихъ случаяхъ объемъ тѣла долженъ измѣняться. Какимъ образомъ нагрѣваніе и охлажденіе можетъ измѣнять величину междучастичныхъ промежутковъ—этого вопроса мы здѣсь касаться не будемъ.

---

10. Составляя группы сходныхъ между собою тѣлъ, можно основываться на тѣхъ или иныхъ признакахъ. По какому внѣшнему признаку мы относимъ такія тѣла, какъ желѣзо, мѣдь, серебро, золото, олово, ртуть, къ группѣ „металловъ"? Что сказать о распространеніи тепла въ металлахъ по сравненію съ тѣлами неметаллическими, напримѣръ деревомъ, стекломъ? (Относительно стекла см. вопросъ къ § 20). По своей текучести ртуть принадлежитъ къ жидкостямъ; на основаніи какого признака мы не затрудняемся относить ее къ металламъ?—**14—16**. Какимъ пріемомъ наполнить цилиндръ или склянку газами, которые выдыхаются нами изъ легкихъ, такъ, чтобы эти газы не смѣшались съ окружающимъ воздухомъ?- Сколько вѣситъ кубич. футъ углекислаго газа? Куб. сажень водорода? *Отв.* Около $^1/_8$ фун.; почти 2 фун. (Предполагается, что газы находятся подъ давленіемъ обыкновеннаго окружающаго насъ воздуха и при комнатной температурѣ).—При всякихъ ли обстоятельствахъ углекислый газъ въ $1^1/_2$ раза тяжелѣе, а водородъ въ $14^1/_2$ разъ легче обыкновеннаго атмосфернаго воздуха? Какимъ свойствомъ газовъ можно воспользоваться, чтобы сдѣлать вѣсъ углекислаго газа и водорода равнымъ вѣсу воздуха въ одинаковомъ объемѣ?—**18**. Изъ сильно кипящаго самовара выбрасываются облакоподобные клубы, которые появляются однако *не у самаго выходного отверстія*; чѣмъ заполнено промежуточное пространство?—Назвать примѣры испаряющихся жидкостей, кромѣ воды. Нѣтъ ли замѣтно испаряющихся твердыхъ тѣлъ?—**19**. Назвать примѣры *плавленія* тѣлъ. Очень обычное слово „таяніе" всегда ли употребляется въ одномъ и томъ же смыслѣ? (Говорятъ: воскъ таетъ отъ тепла, сахаръ таетъ въ водѣ).—Не имѣется ли въ природѣ доказательства, что многіе обыкновенные камни, какъ напримѣръ гранитъ, могутъ быть расплавлены?—Нѣтъ ли тѣлъ, которые при нагрѣваніи вмѣсто того, чтобы плавиться, совершенно измѣняются въ свойствахъ—превращаются въ новыя тѣла?—**20**. При нагрѣваніи конца стеклянной трубки въ пламени, даже очень короткой, другой конецъ ея можно держать въ рукѣ, не обжигаясь. Какое отличіе представляютъ въ этомъ отношеніи „металлы"?—**22**. „Равнообъемнымъ" частямъ мензурки всегда ли будутъ соотвѣтствовать „равныя" дѣленія на стѣнкѣ сосуда? Какъ это зависитъ отъ формы сосуда?—Почему объемъ жидкости точнѣе отмѣривается въ сосудѣ съ узкимъ горломъ, чѣмъ напримѣръ въ широкомъ стаканѣ?—**23**. Какъ воспользоваться тѣмъ же способомъ для опредѣленія объема тѣла, легко растворяющагося въ водѣ, напримѣръ куска сахара или каменной соли?—**24**. Положимъ, что длина въ 25 сантиметровъ оказалась равною $5^5/_8$ верш. Сколько вершковъ приходится на 1 метръ?—Изобразить *графически*, т. е. на чертежѣ, двумя прямолинейными отрѣзками, сравнительную длину версты и километра, считая 15 верстъ=16 км. Какъ воспользоваться для этого линейкой съ дѣленіями на дюймы, сантиметры или миллиметры? *Отв.* Такъ какъ килом. = 15/16 версты, то можно напр. взять отрѣзки въ 16 и 15 полусантиметровъ:



Діаметръ земли 12800 км. Средній ростъ человѣка около 1,5 м.; самое высокое на землѣ зданіе, Эйфелева башня въ Парижѣ = 300 м. (въ 200 разъ больше средняго человѣческаго роста); самая высокая гора 8,8 км. надъ уровнемъ моря (почти въ 6000 разъ больше средняго роста). Во сколько примѣрно разъ названныя величины меньше земного діаметра? *Отв.* Въ $8^1/_2$ милліоновъ разъ; 42000; почти въ $1^1/_2$ тысячи разъ.—Какъ раздѣлить площадь въ 1 кв. метръ на *милліонъ* равныхъ частей? — Сколько куб. сантиметровъ въ куб. дециметрѣ? Что будетъ *одной милліонной* кубическаго дециметра?—Обратить куб. метръ въ куб. дециметры, куб. сантиметры и куб. миллиметры. (Замѣтимъ, что куб. метръ больше куб. сантиметра почти во столько же разъ, сколько разъ надо было бы взять нашу землю, чтобы составилось тѣло по объему равное солнцу).—**26**. Изъ чего можно видѣть, что длина желѣзнодорожныхъ рельсовъ больше въ жаркій лѣтній день, нежели въ холодный зимній? Что могло бы произойти при значительныхъ перемѣнахъ температуры, если бы рельсы были соединены (въ стыкахъ) неподвижно?[1]—Для чего желѣзная шина надѣвается на ободъ колеса горячею?—Отчего стеклянный стаканъ иногда трескается при вливаніи кипятку? Почему чаще трескаются толстостѣнные стаканы? (Колбы и другіе стеклянные сосуды, подвергаемые нагрѣванію въ пламени, дѣлаются изъ очень тонкаго стекла).—Какъ поступить, чтобы

---

[1] Конечно рельсы должны немного нагрѣваться и послѣ прохода поѣзда; но это повышеніе температуры сравнительно съ нагрѣваніемъ ихъ солнечными лучами ничтожно и во всякомъ случаѣ гораздо меньше, чѣмъ обыкновенно думаютъ.

вынуть стеклянную пробку, плотно засѣвшую въ горлѣ склянки? Что можетъ произойти, если вложить стеклянную пробку въ предварительно нагрѣтое горло и дать стеклу охладиться? — **27**. Стеклянный шарикъ съ узкой трубкой содержитъ жидкость, которая занимаетъ и часть трубки. Если опустить шарикъ въ горячую воду, то *сперва* жидкость въ трубкѣ немного опустится, а потомъ уже начнетъ подниматься. Отчего это происходитъ? Что сперва должно произойти, если, наоборотъ, шарикъ съ нагрѣтой уже жидкостью опустить въ болѣе холодную воду?—Если при нагрѣваніи объемъ жидкости увеличивается, не смотря на расширеніе *сосуда*, то что можно сказать о расширеніи жидкости сравнительно съ расширеніемъ матерьяла сосуда?—Отчего нагрѣвшаяся вода выливается изъ самовара, если холодная наполняла его до краевъ? Произойдетъ ли это только во время *кипѣнія* или еще раньше этого? (*Кипящая* вода выбрасывается изъ самовара конечно главнымъ образомъ вслѣдствіе сильнаго движенія жидкости).

III.

О вѣсѣ (тяжести) тѣлъ.

Отвѣсное и горизонтальное направленія.

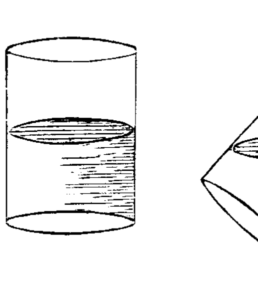
30. Всякое тѣло на землѣ имѣетъ в ѣ с ъ: ничѣмъ не поддерживаемое, оно п а д а е т ъ, а на подставку, мѣшающую ему упасть, оно производитъ большее или меньшее д а в л е н і е.

Направленіе, по которому тѣла стремятся падать, называется о т в ѣ с н ы м ъ или в е р т и к а л ь н ы м ъ. Нить съ привѣшеннымъ къ ней грузикомъ, въ положеніи покоя, указываетъ намъ это направленіе. Если толкнемъ грузикъ, то, сдѣлавъ нѣсколько качаній изъ стороны въ сторону, онъ снова займетъ с а м о е н и з к о е п о л о ж е н і е, какое только допускаетъ длина нити. Это простое приспособленіе называется о т в ѣ с о м ъ (рис. 25). Безъ него не выводится ни одна стѣна каменнаго зданія; стѣна, уклоняющаяся отъ отвѣснаго направленія, не была бы достаточно устойчива.

25.

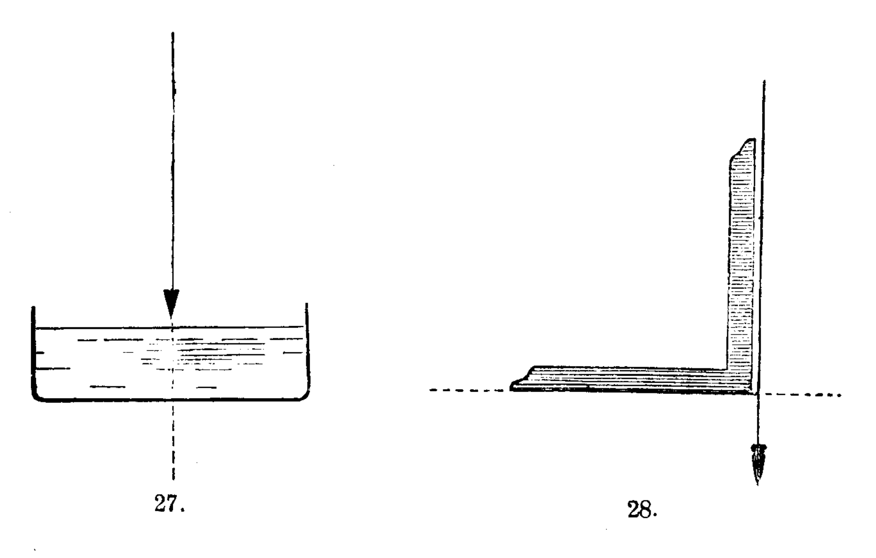
31*. Если въ стаканъ нальемъ воды или ртути,

то ихъ поверхность установится въ направленіи, которое называется г о р и з о н т а л ь н ы м ъ (рис. 26). Всякія неровности на поверхности жидкости, происходящія вслѣдствіе толчка или другихъ причинъ, быстро сглаживаются. Почему? Потому что частички жидкости, стремясь падать, тотчасъ начинаютъ перемѣщаться, соскальзывая въ болѣе низкія мѣста.—О т в ѣ с н о е и г о р и з о н т а л ь н о е н а п р а в л е н і я в з а и м н о п е р п е н д и к у л я р н ы. Если надъ спокойною поверхностью воды (или другой жидкости) держать отвѣсъ, то направленіе его образуетъ съ поверхностью жидкости п р я м о й у г о л ъ (рис. 27).



26.

Итакъ, зная отвѣсное направленіе, мы тотчасъ найдемъ горизонтальное—и наоборотъ. Положимъ напр., что требуется провѣрить горизонтальность какой-нибудь плоскости. Возьмемъ двѣ скрѣпленныхъ подъ прямымъ угломъ линейки (наугольникъ) и, приложивъ одну изъ нихъ къ провѣряемой плоскости, приблизимъ къ другой отвѣсъ: если первая горизонтальна, то направленіе другой должно совпасть съ



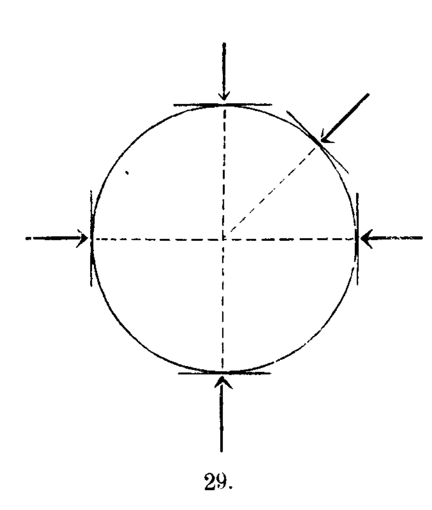
27. 28.

нитью отвѣса (рис. 28). На этомъ началѣ и основывается устройство такъ называемаго плотничьяго *ватерпаса*, часто употребляемаго въ практикѣ, напр. при постройкахъ.

32. Возьмемъ отвѣсъ и будемъ подносить его къ тѣмъ предметамъ нашей комнаты, которые мы привыкли считать прямостоящими. Мы увидимъ, что стѣнка шкафа, боковой край картины, свѣча въ подсвѣчникѣ и пр. обыкновенно болѣе или менѣе уклоняются отъ отвѣснаго направленія; и едва ли мы скоро найдемъ дѣйствительно прямостоящій предметъ. Точно такъ же, провѣряя горизонтальность доски стола, полки и т. п., мы почти всегда найдемъ ихъ немного наклоненными въ ту или другую сторону. Въ повседневной жизни мы именно очень часто довольствуемся направленіями *приблизительно* отвѣсными и горизонтальными вмѣсто точныхъ.

33*. Земля наша, какъ извѣстно, есть тѣло, по формѣ очень близкое къ шару. Если отвѣсныя линіи въ разныхъ мѣстахъ земли продолжить мысленно въ глубь земли, то всѣ онѣ пройдутъ почти чрезъ ея центръ. Другими словами — если принять землю за шаръ—отвѣсная линія въ каждой точкѣ земной поверхности будетъ продолженіемъ земного радіуса [1]. Горизонтальное же направленіе въ данной точкѣ земной поверхности получимъ, проведя прямую перпендикулярную къ радіусу (см. рис. 29).

Итакъ отвѣсныя линіи, проведенныя въ двухъ разныхъ точкахъ земной поверхности, всегда сойдутся при земномъ центрѣ подъ нѣкоторымъ угломъ. Но радіусъ земного шара— около 6000 верстъ. Поэтому, если разстояніе взятыхъ точекъ невелико, то уголъ, составляемый при центрѣ отвѣсными линіями, будетъ малъ. Изъ географіи извѣстно, что разница въ *широтѣ* двухъ мѣстъ равная одному градусу соотвѣтствуетъ разстоянію между ними въ 100 съ небольшимъ верстъ. А это и значитъ, что двѣ отвѣсныя линіи, проведенныя на стоверстномъ разстояніи, составили бы при земномъ центрѣ уголъ около 1°. Понятно, что уголъ между отвѣсными линіями будетъ ничтожно малъ, если возьмемъ ихъ въ разстояніи нѣсколькихъ саженъ одна отъ другой: тѣмъ не менѣе, *строго говоря*, и ихъ нельзя назвать параллельными между собою. Принимая ихъ обыкновенно за параллельныя, мы и здѣсь довольствуемся бо́льшимъ или меньшимъ приближеніемъ къ истинѣ.



29.

[1] Чтобы уяснить себѣ это, сто̀итъ лишь представить себѣ человѣка стоящимъ съ отвѣсомъ въ рукѣ въ разныхъ точкахъ поверхности земного шара, или же—воткнуть въ географическій глобусъ, въ разныхъ мѣстахъ, нѣсколько булавокъ такъ, чтобы они стояли „прямо“ по отношенію къ соотвѣтствующей части поверхности глобуса. Если изобразить земной шаръ кру̀гомъ по возможности большого радіуса, то становится очевиднымъ, что прямая перпендикулярная къ поверхности океана совпадетъ съ направленіемъ земного радіуса.—На самомъ дѣлѣ форма земли нѣсколько отличается отъ шара, а потому и заключеніе относительно отвѣсныхъ линій не вполнѣ точно, хотя и очень близко къ дѣйствительности.

О равновѣсіи.

34. Можно не дать тѣлу падать, подперевъ или подвѣсивъ его. Камень, положенный на руку, давитъ на нее, и, чтобы камень не падалъ, мы должны его „поддерживать“, т. е. давить на него снизу вверхъ точно такъ, какъ онъ давитъ сверху внизъ. Мы скажемъ, что давленіе камня на руку *уравновѣшивается* давленіемъ руки на камень. Если бы, привязавъ къ камню веревку, мы удерживали его рукою за эту веревку, то тяга, производимая камнемъ внизъ, уравновѣшивалась бы противоположною тягою нашей руки.

35*. Причина, заставляющая тѣла падать,—какъ бы влекущая ихъ къ землѣ,—называется *силою тяжести*. Дѣйствіе силы тяжести можетъ быть уравновѣшено другими силами, напр. тяжесть камня—давленіемъ руки. Но и разные иные случаи подпертыхъ или подвѣшенныхъ тѣлъ, находящихся въ покоѣ, можно разсматривать какъ случаи *равновѣсія* силъ. Вотъ нѣсколько примѣровъ.

Положимъ, грузъ подвѣшенъ къ какой-нибудь растяжи-

мой (резиновой) тесьмѣ. Тесьма растягивается—больше или меньше, смотря по величинѣ груза,—и скоро грузъ приходитъ въ состояніе покоя. Онъ не падаетъ дальше, хотя резина могла бы еще значительно растянуться. Почему? Потому что резина упруга и, будучи растянута, стремится принять свою первоначальную длину. Такимъ образомъ является противодѣйствіе, удерживающее грузъ на опредѣленной высотѣ. Мы видимъ, что и здѣсь двѣ причины (вѣсъ тѣла и натяженіе резины), изъ которыхъ каждая въ отдѣльности могла бы двигать тѣло, не приводятъ его въ движеніе, дѣйствуя одновременно. Двѣ силы взаимно уравновѣшиваются.

Нѣчто сходное, лишь менѣе замѣтно, происходитъ и тогда, когда тѣло подвѣшено къ обыкновенной нити или бичевкѣ. И нить и бичевка нѣсколько растягиваются: является сила упругости, которая уравновѣшиваетъ вѣсъ тѣла.

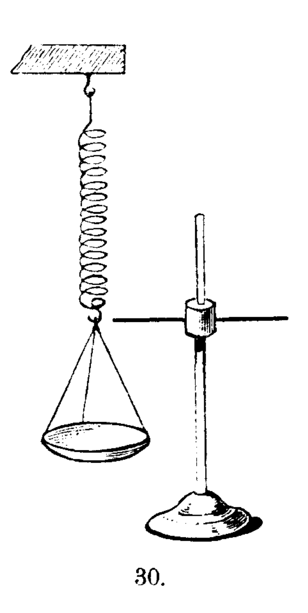
Если достаточно большой грузъ положить на средину доски, концы которой подперты, то доска видимо измѣняется въ формѣ (вдавливается) тяжестью груза. Вѣсъ тѣла уравновѣшивается силою упругости доски. Взявъ тонкую линейку или кусокъ картона, замѣтимъ вдавливаніе уже отъ дѣйствія довольно незначительнаго груза. Нѣчто подобное, но быть можетъ въ незамѣтной для глаза степени, происходитъ всякій разъ, какъ грузъ подпертъ чѣмъ-нибудь снизу.

Какъ тѣла взвѣшиваются?

36. О различіи вѣса небольшихъ предметовъ мы приблизительно можемъ судить уже по тому, съ какою силою они давятъ на нашу руку или тянутъ ее внизъ. Но гораздо точнѣе будетъ сравненіе, если подвѣшивать тѣла напр. къ пружинѣ или резинѣ (резиновой тесьмѣ), которыя при этомъ растягиваются тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше вѣсъ тѣла. Можно судить о вѣсѣ и по степени сжатія пружины. Или, подвѣсивъ тѣло къ концу горизонтальной гибкой линейки, другой конецъ которой укрѣпленъ неподвижно, можно будетъ судить о вѣсѣ тѣла по бóльшему или меньшему гнутію линейки и т. п. Если два предмета одинаково растягиваютъ резину, одинаково растягиваютъ или сжимаютъ

пружину, то мы заключимъ, что оба предмета равнаго вѣса; въ противномъ случаѣ вѣсъ ихъ различенъ.

37*. Возьмемъ спиральную пружину (или просто резиновую тесьму) съ подвѣшенной къ ней „чашкою“ отъ вѣсовъ (рис. 30) и приспособимъ указатель, который позволялъ бы отмѣчать растяженіе пружины. Имѣя такой приборъ, мы уже можемъ взвѣсить тѣло, т. е. узнать, во сколько разъ вѣсъ тѣла больше вѣса напр. гирьки въ одинъ золотникъ. Положивъ на чашку взвѣшиваемый предметъ, напр. камень, отмѣтимъ помощью указателя, насколько растянулась пружина. Потомъ снимемъ камень и замѣнимъ его столькими золотниковыми гирьками, чтобы растяженіе пружины было такое же, какъ прежде. Пусть пришлось положить 36 золотниковъ; значитъ, вѣсъ камня равенъ вѣсу 36 золотниковыхъ гирекъ или, какъ говорятъ для краткости, камень вѣситъ 36 золотниковъ. Вмѣсто золотника мы можемъ принять за единицу вѣсъ фунтовой гири: вѣсъ взятаго нами камня будетъ составлять $^{36}/_{96}$ или $^{3}/_{8}$ вѣса такой гири, или, говоря короче, камень вѣситъ $^{3}/_{8}$ фунта.

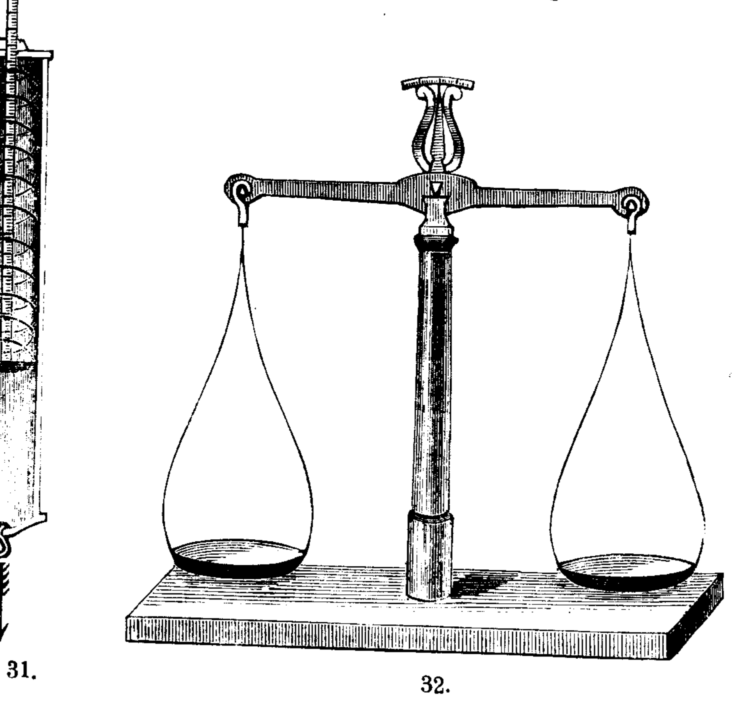


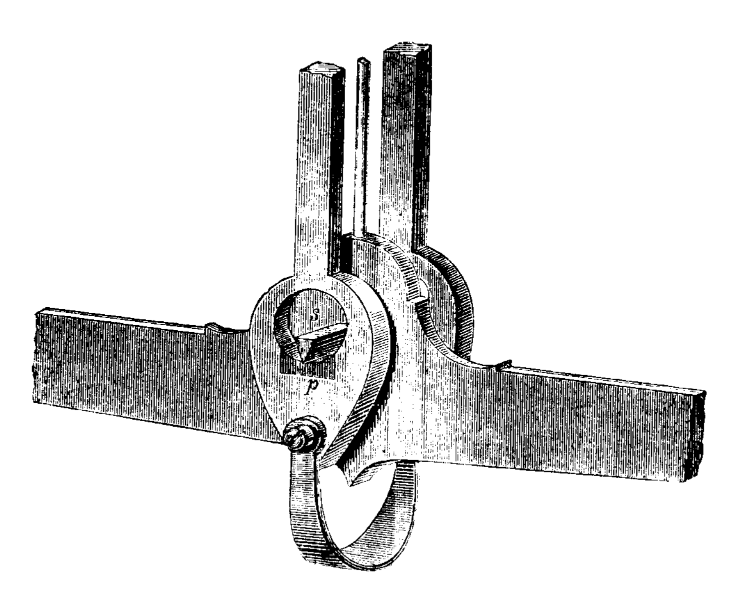
30.

Мы будемъ часто пользоваться ниже вѣсовыми единицами метрической системы мѣръ: граммомъ и килограммомъ. Граммъ составляетъ приблиз. $^{1}/_{410}$ часть нашего фунта, а килограммъ, равный 1000 граммамъ, немного менѣе $2^{1}/_{2}$ фунтовъ (Сокращенныя обозначенія—гр. и кг.).

38*. Спиральная пружина (резина) съ подвѣшенной къ ней чашкою и указателемъ, которою мы пользовались выше, есть не что иное, какъ вѣсы самаго простого устройства. На томъ же началѣ основано устройство пружинныхъ вѣсовъ, часто употребляющихся въ хозяйствѣ, а также для взвѣшиванія писемъ и пр. (рис. 31). Отъ нашего болѣе простого приспособленія они отличаются тѣмъ, что растяженіе (или сжатіе) пружины отъ подвѣшиванія того или

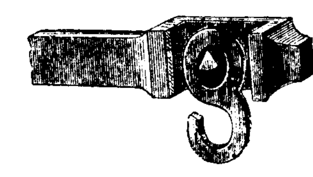
иного числа фунтовъ (лотовъ, граммовъ) заранѣе отмѣчено на линейкѣ или „шкалѣ“, вдоль которой движется указатель; такимъ образомъ самое взвѣшиванiе происходитъ безъ употребленiя гирь. Но наибольшаго нашего вниманiя заслуживаютъ вѣсы съ „коромысломъ“ и чашками (рис. 32). Коромысло такихъ вѣсовъ (обыкновенно желѣзное или мѣдное) опирается на подставку изъ твердаго матерьяла при помощи остраго стального лезвiя, около котораго оно можетъ свободно поворачиваться въ вертикальной плоскости (это лучше видно на рис. 33). Къ концамъ коромысла, въ равныхъ разстоянiяхъ отъ средняго лезвея, на крючкахъ (рис. 34) подвѣшены чашки. Разстоянiе между среднимъ лезвеемъ и точками подвѣса чашекъ называются плечами коромысла. Какъ плечи, такъ и чашки вѣсовъ имѣютъ одинаковый вѣсъ. Когда чашки пусты или на нихъ лежатъ тѣла равнаго вѣса, коромысло „вѣрныхъ“ вѣсовъ устанавливается горизонтально, а придѣланная къ нему въ срединѣ стрѣлка—вертикально. Это положенiе коромысла и принято называть положенiемъ равновѣсiя. Двѣ одинаковаго вѣса гири, положенныя на чашки вѣрныхъ вѣсовъ, взаимно-уравновѣшиваются, и равновѣсiе не нарушится, если переложить гири съ одной чашки на другую. Въ случаѣ вѣрныхъ вѣсовъ именно безразлично, на которой изъ чашекъ лежитъ гиря, потому что обѣ половины вѣсовъ, вправо и влѣво отъ опорнаго лезвея, совершенно одинаковы.


31. 32.



33. Острое ребро стальной трехгранной „призмы“ *s* опирается на стальную пластинку *p*.

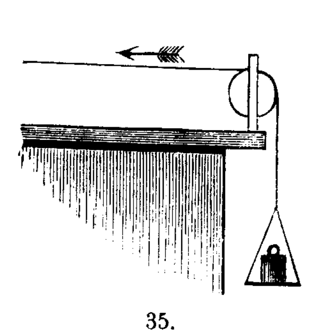
39*. Однако вѣсы не всегда въ достаточной степени удовлетворяютъ этому условiю. Если вѣсы не равноплечны, то на нихъ нельзя дѣлать вѣрнаго взвѣшиванiя по обычному (всѣмъ извѣстному) прiему. Но на такихъ вѣсахъ можно взвѣшивать вѣрно слѣдующимъ образомъ. Кладутъ взвѣшиваемый предметъ на одну чашку, а на другую насыпаютъ въ коробочку столько дроби (или песку), чтобы коромысло приняло горизонтальное положенiе. Потомъ, снявъ предметъ, замѣняютъ его разновѣсками (гирями) въ такомъ количествѣ, чтобы коромысло снова установилось горизонтально. Теперь разновѣски давятъ на чашку вѣсовъ очевидно съ тою же силою, съ какою прежде давилъ лежав-


34.

шій на ней предметъ. Вѣсъ предмета будетъ равенъ вѣсу замѣнившихъ его разновѣсокъ, каковы бы ни были плечи коромысла.

40. Одно изъ важныхъ преимуществъ описанныхъ вѣсовъ—то, что они гораздо чувствительнѣе пружинныхъ: это значитъ, что на нихъ можно замѣтить значительно меньшую прибавку вѣса. Напр., если на обѣ чашки обыкновенныхъ аптекарскихъ вѣсовъ положить по 100-граммовой гирѣ (100 гр. приблиз. $1/4$ ф.), то прибавка на одну изъ чашекъ $1/20$ грамма будетъ очень замѣтна; а такой перегрузокъ составляетъ всего $1/2000$ вѣса лежащей на чашкѣ гири. Вѣсы, на которыхъ можно замѣтить перегрузокъ въ $1/10000$ и даже $1/100000$ вѣса взвѣшиваемаго предмета, составляютъ необходимую принадлежность каждой лабораторіи или аптеки. Вѣсы, употребляемые для научныхъ изслѣдованій, бываютъ еще гораздо чувствительнѣе.

41*. Объ измѣреніи силъ вѣсовыми единицами. „Взвѣшивая“ тѣло указаннымъ образомъ, мы узнаёмъ, во сколько разъ его вѣсъ больше вѣса нѣкотораго другого тѣла, называемаго гирею, или какую долю вѣса гири онъ составляетъ: вѣсъ гири принимается за единицу сравненія. Другими словами, мы сравниваемъ величину силы, влекущей данное тѣло отвѣсно внизъ, съ силою, дѣйствующею такимъ же образомъ на гирю. Но можно и другія силы сравнивать съ вѣсомъ гирь—измѣрять силы вѣсовыми единицами. Стòитъ лишь найти, какимъ вѣсомъ уравновѣшивается сила, или какой вѣсъ она можетъ собою замѣнить. Напр., пробуя удержать неподвижно вытянутую внизъ рукою тотъ или иной грузъ (то или иное число фунтовъ или килограммовъ), мы находимъ силу тяги вверхъ, производимой нашими мышцами. Чтобы найти силу тяги въ другомъ направленіи, напр. горизонтальномъ, можно тянуть за горизонтальную веревку, перекинутую чрезъ блокъ, съ подвѣшеннымъ на ея концѣ грузомъ (рис. 35). Часто пользуются и приборами, устроенными на началѣ пружинныхъ вѣсовъ— силомѣрами:


35.

если тянуть за рукоятку прибора, укрѣпленнаго неподвижно, то его пружина болѣе или менѣе измѣняется въ формѣ, и передвигающаяся при этомъ стрѣлка укажетъ величину тяги въ вѣсовыхъ единицахъ; здѣсь мы узнаёмъ, сколько вѣсовыхъ единицъ наша сила можетъ замѣнить. Подобнымъ образомъ измѣряется и давленіе одного предмета на другой, какъ отвѣсно внизъ, такъ и въ любомъ иномъ направленіи. Напр. давленіе вѣтра на площадь заданной величины (кв. футъ, кв. метръ) выражаютъ въ вѣсовыхъ единицахъ (фунтахъ, килограммахъ). — Изъ множества случаевъ измѣренія другихъ силъ вѣс. единицами возьмемъ еще силу притяженія желѣза магнитомъ: какъ всякая иная тяга, она можетъ быть выражена напр. въ граммахъ вѣса.

Тяжелое и легкое (относительная плотность тѣлъ).

42. Изъ двухъ тѣлъ, имѣющихъ различный вѣсъ, мы называемъ одно болѣе тяжелымъ, а другое—болѣе легкимъ. Но слова „тяжелѣе“ и „легче“ часто употребляются нами еще и въ другомъ смыслѣ. Мы говоримъ напр., что „желѣзо тяжелѣе дерева“, хотя знаемъ, что небольшой кусокъ желѣза можетъ быть легче большого куска дерева. Выражаясь такимъ образомъ, мы очевидно подразумѣваемъ, что сравнивается вѣсъ самаго матерьяла или вещества тѣлъ, причемъ взвѣшиваются куски одинаковыхъ размѣровъ или, лучше, одинаковаго объема. Желѣзо и ртуть тяжелѣе воды, а пробка и деревянное масло—легче. Это именно значитъ, что желѣзо и ртуть вѣсятъ больше, а пробка и деревянное масло меньше равнаго объема воды.

Представляя себѣ вещество различныхъ тѣлъ какъ бы неодинаково „сплоченнымъ“ въ нихъ, говорятъ также, что плотность желѣза и ртути больше, а пробки и деревяннаго масла меньше, чѣмъ воды.

43*. При сравненіи между собою плотности разныхъ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ, относятъ ее сперва къ плотности одного, именно воды. Посмотримъ, какъ это дѣлается.

Прежде всего, какъ отмѣривать одинаковые объемы? Въ случаѣ жидкостей это конечно всего проще: достаточно наполнять ими одинъ и тотъ же сосудъ. Удобнѣе и точнѣе взять склянку или колбу съ мѣткою на горлышкѣ и нали-

вать жидкость до этой мѣтки. Чтобы взять объемъ воды равный объему какого-нибудь твердаго тѣла, напр. куска стекла, можно воспользоваться описанной выше кружкою для вытѣсненія (§ 23). Послѣ этого будетъ понятно, какъ рѣшаются напр. такіе вопросы:

1) Узнать, во сколько разъ обыкновенное стекло тяжелѣе равнаго объема воды. Пусть кусокъ стекла вѣситъ 130 грам., а равный ему объемъ воды 50 грам. Раздѣливъ вѣсъ стекла на вѣсъ воды, найдемъ $^{130}/_{50}=2^3/_5$ или 2,6. Во сколько разъ взятое нами стекло тяжелѣе (равнаго объема) воды.

Точно также найдемъ напр., что желѣзо почти въ 8 разъ тяжелѣе (равнаго объема) воды—точнѣе въ $7^4/_5$ или 7,8 раза.

2) Узнать, во сколько разъ ртуть тяжелѣе воды. Взвѣсивъ одинаковые объемы обѣихъ жидкостей, раздѣлимъ вѣсъ ртути на вѣсъ воды и найдемъ около $13^1/_2$ — точнѣе $13^3/_5$ или 13,6.

Очень удобно взять склянку, вмѣщающую до мѣтки ровно 10 гр. воды; такая склянка вмѣститъ (при комнатной степени тепла) около 135 гр. ртути. Чтобы не взвѣшивать склянки, ее сперва уравновѣшиваютъ дробью, которую насыпаютъ въ коробочку на другую чашку вѣсовъ.

Наливъ въ склянку, вмѣщающую до мѣтки 50 гр. воды, „насыщеннаго“ раствора обыкновенной соли до той же мѣтки, найдемъ вѣсъ раствора равнымъ 60 грам. Слѣдов. насыщенный соляной растворъ въ $1^1/_5$ (1,2) раза тяжелѣе воды.

3) Сравнить вѣсъ дерева съ вѣсомъ воды. Положимъ, взятый кусокъ дерева вѣситъ 36 грам. Такъ какъ дерево въ водѣ плаваетъ, то воткнемъ въ него тонкое шило и осторожно погрузимъ въ воду, пользуясь кружкой для вытѣсненія. Пусть вылившаяся вода вѣситъ 60 грам. Значитъ вѣсъ взятаго дерева составляетъ $^{36}/_{60}$, или $^3/_5$ (0,6) вѣса равнаго объема воды.

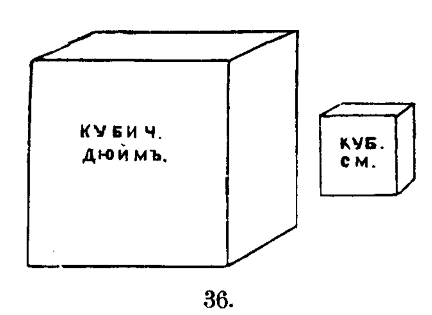
Взвѣшивая одинаковые объемы воды и самаго крѣпкаго продажнаго виннаго спирта, мы нашли бы, что вѣсъ спирта составляетъ около $^4/_5$ (0,8) вѣса равнаго объема воды. Склянка, вмѣщающая до мѣтки 100 гр. воды, вмѣстила бы около 80 гр. спирта.

44*. Теперь, если бы представился вопросъ: во сколько разъ желѣзо плотнѣе стекла, то найденныя нами числа тотчасъ даютъ на него отвѣтъ. Желѣзо плотнѣе стекла во столько

разъ, во сколько $7^4/_5$ больше $2^3/_5$, т. е. въ три раза. Или: во сколько разъ желѣзо плотнѣе того сорта дерева, плотность котораго составляла $^3/_5$ плотности воды? Во столько разъ, во сколько $7^4/_5$ больше $^3/_5$, т. е. въ 13 разъ. (Для упрощенія мы вездѣ беремъ числа округленныя).

45*. Каждое изъ получаемыхъ такимъ образомъ чиселъ ($2^3/_5$, $13^3/_5$, $^3/_5$,...) очевидно не зависитъ отъ объема взятаго тѣла, а только отъ свойствъ матерьяла, къ которому относится; если мы возьмемъ вдвое, втрое... бо́льшій объемъ тѣла, то и равный ему объемъ воды будетъ вѣсить во столько же разъ больше, и отношеніе вѣса тѣла къ вѣсу воды не измѣнится. Это отношеніе, или частное, происшедшее отъ дѣленія вѣса тѣла на вѣсъ равнаго объема воды, и показываетъ намъ относительную плотность тѣлъ. Когда говорятъ: относительная плотность ртути $13^3/_5$, желѣза $7^4/_5$, а виннаго спирта $^4/_5$, это значитъ, что объемъ, вмѣщающій одну вѣсовую единицу воды, вмѣститъ $13^3/_5$ вѣс. единицъ ртути, $7^4/_5$ в. единицъ желѣза, $^4/_5$ в. единицы спирта и т. д.

46*. Зная, какъ относится вѣсъ какого-либо твердаго или жидкаго тѣла къ вѣсу равнаго объема воды, мы можемъ замѣнить взвѣшиваніе тѣла на вѣсахъ вычисленіемъ его вѣса, если только знаемъ его объемъ. Для этого нужно помнить, что при обыкновенной температурѣ одинъ кубическій дюймъ воды вѣситъ около $^1/_{25}$ (0,04) фунта, а одинъ кубическій сантиметръ воды около 1 грамма (эти соотношенія въ большинствѣ случаевъ можно принимать за полное равенство). Вотъ нѣсколько примѣровъ.



36.

1) Сколько вѣситъ 1 куб. дюймъ желѣза? Куб. дюймъ дерева, котораго относ. плотность $^3/_5$? Такъ какъ желѣзо въ $7^4/_5$ тяжелѣе равнаго ему объема воды, то вѣсъ куб. дюйма желѣза $=^1/_{25}.\ 7^4/_5=^{39}/_{125}$ ф., или около $^1/_4$ ф. Вѣсъ дерева составляетъ $^3/_5$ вѣса воды одинаковаго объема; поэтому куб. дюймъ такого дерева вѣситъ $^1/_{25}.\ ^3/_5=^3/_{125}$ ф., или около $2^1/_4$ золотн.

Одинъ куб. сантиметръ желѣза будетъ очевидно вѣсить $7\frac{4}{5}$ грам., а дерева $\frac{3}{5}$ грамма, потому что вѣсъ куб. сантиметра воды можно считать=1 грамму.

2) Вѣсъ кубическаго фута тѣхъ же матерьяловъ найдемъ, умножая полученныя выше числа на число куб. дюймовъ въ куб. футѣ, т. е. на 1728. Или же узна́емъ сперва вѣсъ куб. фута воды: онъ равенъ $\frac{1}{25}$. 1728 ф., т. е. почти точно $69\frac{1}{8}$ ф. А потомъ, умножая это число на $7\frac{4}{5}$, на $\frac{3}{5}$ и т. д., уже найдемъ вѣсъ куб. фута желѣза, дерева и пр. (въ фунтахъ, а отсюда и въ пудахъ). Полезно также имѣть въ виду, что $\frac{1}{25}$ фунта=$\frac{1}{25.40}$ или $\frac{1}{1000}$ пуда, такъ что 1 куб. дюймъ воды вѣситъ $\frac{1}{1000}$ пуда; слѣдов. 1 куб. футъ воды вѣситъ $\frac{1728}{1000}$ пуда, или 1,728 п.

Одинъ куб. дециметръ=1000 куб. сантиметр.; слѣдов. куб. дециметръ воды вѣситъ 1000 гр. или 1 килограммъ. Куб. дециметръ желѣза будетъ вѣсить $7\frac{4}{5}$ килогр., дерева $\frac{3}{5}$ кг. и т. д.

3) Сколько вѣситъ ведро ртути, ведро виннаго спирта? Объемная мѣра, называемая ведромъ, вмѣщаетъ 750 куб. дюймовъ, т. е. ведро воды вѣситъ 30 фунт. Ведро ртути будетъ вѣсить 30.$13\frac{3}{5}$ ф., или слишкомъ 10 пу́довъ. Вѣсъ виннаго спирта составляетъ $\frac{4}{5}$ вѣса воды равнаго объема; поэтому вѣсъ ведра спирта 30.$\frac{4}{5}$=24 ф.

Вѣсъ 1 литра ртути=$13\frac{3}{5}$ килограм., виннаго спирта $\frac{4}{5}$ килогр. и т. д., потому что литръ воды (почти точно 1 куб. дециметръ) вѣситъ 1 килограммъ.

4) Найти вѣсъ прямоугольной гранитной глыбы, имѣющей 3 сажени длины, 2 саж. ширины и 1 саж. толщины. Число куб. футовъ въ этой глыбѣ=21. 14. 7. Такой объемъ воды вѣсилъ бы 21. 14. 7. $69\frac{1}{8}$ фунтовъ. Но взявъ образчикъ гранита, изъ котораго состоитъ глыба, мы, положимъ, нашли по указанному выше пріему, что этотъ гранитъ въ $2\frac{1}{2}$ раза тяжелѣе воды. Въ такомъ случаѣ вся гранитная масса вѣситъ $\frac{21.\ 14.\ 7.\ 69\frac{1}{8}.\ 2\frac{1}{2}}{40}$ пуд., или около 8890 пуд.

Иначе: такъ какъ куб. дюймъ воды вѣситъ 0,001 пуда, то куб. футъ воды будетъ вѣсить 0,001. 1728=1,728 пуда; слѣдов. вѣсъ гранитной глыбы=21. 14. 7. 1,728.$2\frac{1}{2}$ пуд.

Отсюда мы видимъ, что вычисленіемъ можно опредѣлять

вѣсъ тѣлъ настолько тяжелыхъ, что ихъ нельзя было бы взвѣсить ни на какихъ вѣсахъ.

47*. Относ. плотность матерьяловъ, носящихъ одно и то же названіе, не всегда бываетъ одинакова, потому что одно и то же названіе нерѣдко относится до различныхъ „сортовъ“ матерьяла. Напр. стекло бываетъ разнаго изготовленія (разнаго состава) и можетъ имѣть разную относ. плотность; если достаточно точно опредѣлять относ. плотность даже обыкновенно встрѣчающихся сортовъ стекла, то можно найти небольшія разницы въ числахъ. Относ. плотность многихъ металловъ (желѣза, мѣди и др.) весьма замѣтно измѣняется въ зависимости отъ способа ихъ обработки ковки, литья, отъ степени ихъ чистоты и пр. Поэтому тщательное опредѣленіе относ. плотности часто даетъ возможность рѣшить, имѣется ли въ рукахъ тотъ именно сортъ матерьяла, который нуженъ. Къ такому пріему приходится прибѣгать напр. при опредѣленіи достоинства керосина (состоящаго изъ смѣси многихъ горючихъ жидкостей), крѣпости виннаго спирта (смѣсь безводнаго спирта съ водою), при распознаваніи минераловъ и пр.

По объясненнымъ выше (и другимъ) причинамъ въ справочныхъ таблицахъ относительной плотности обыкновенно даются нѣкоторыя среднія числа. Вотъ нѣсколько примѣровъ относительной плотности твердыхъ и жидкихъ тѣлъ — въ округленныхъ числахъ, легко удерживающихся въ памяти [1].

Пробка въ пять разъ легче воды (отн. пл. $\frac{1}{5}$ или 0,2), сухое сосновое дерево—вдвое ($\frac{1}{2}$ или 0,5); вѣсъ льда составляетъ $\frac{9}{10}$ (0,9) вѣса воды равнаго объема; отн. плотн. обыкновеннаго стекла можно круглымъ счетомъ принять за $2\frac{1}{2}$, желѣза за $7\frac{1}{2}$; платина, одно изъ плотнѣйшихъ веществъ, въ $21\frac{1}{2}$ разъ тяжелѣе воды. Изъ жидкостей безводный винный спиртъ имѣетъ отн. плотн. около $\frac{4}{5}$ или 0,8, морская вода (именно вода океановъ) около $1\frac{3}{100}$, или 1,03, насыщенный растворъ обыкновенной соли $1\frac{1}{5}$, или 1,2; а самая тяжелая изъ обычныхъ жидкостей, ртуть, около $13\frac{1}{2}$, точнѣе $13\frac{3}{5}$, или 13,6.

Числа, показывающія относительную плотность твердыхъ

---

[1] Болѣе подробную табличку см. въ „вопросахъ“, стр. 52.

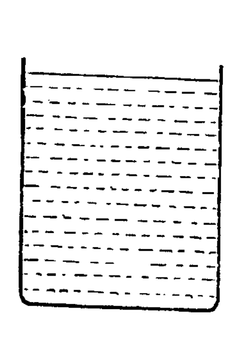
и жидкихъ тѣлъ, нерѣдко даются также подъ именемъ удѣльнаго вѣса.

Нѣкоторыя явленія тяжести жидкостей.

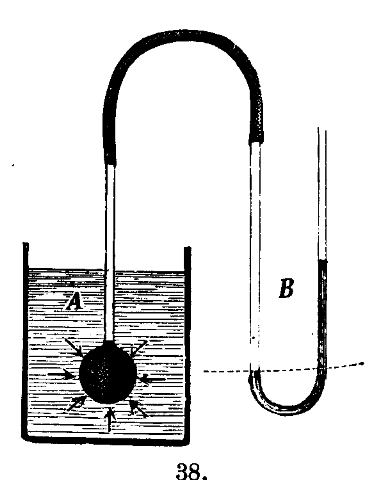
48*. Жидкость своею подвижностью отчасти напоминаетъ собою „сыпучее" тѣло. Но частички жидкостей еще гораздо легче перемѣщаются (скользятъ) одна около другой, нежели тѣ твердыя крупинки, изъ которыхъ состоятъ сыпучія тѣла. Вслѣдствіе этого тяжесть, или стремленіе падать, обнаруживается въ жидкостяхъ нѣкоторыми особенными явленіями, которыя обыкновенно не наблюдаются въ сплошныхъ твердыхъ тѣлахъ и лишь отчасти свойственны тѣламъ сыпучимъ.

49. Свободная поверхность жидкости въ сосудѣ сама собою устанавливается горизонтально, т. е. перпендикулярно къ отвѣсной линіи, потому что только тогда поверхностныя частички не могутъ болѣе перемѣщаться вслѣдствіе собственной тяжести, влекущей ихъ отвѣсно внизъ.

Внутри, подъ поверхностью, жидкость должна быть болѣе или менѣе сдавлена собственною тяжестью. Раздѣливъ мысленно всю массу жидкости на горизонтальные слои (рис. 37), легко видѣть, что каждый изъ нихъ находится подъ давленіемъ всѣхъ вышележащихъ слоевъ; поэтому давленіе внутри жидкости будетъ возрастать съ глубиною.



37.



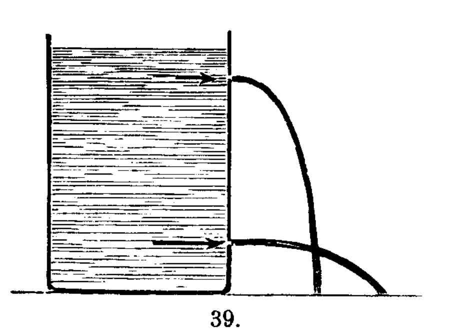
38.

Возьмемъ тонкую стеклянную трубку съ прикрѣпленнымъ къ одному концу ея резиновымъ мѣшечкомъ (шарикомъ или такъ наз. „грибкомъ" отъ воздушнаго звонка); другой конецъ ея сообщимъ съ двухколѣнной стеклянной трубкой, въ которой налита подкрашенная вода (рис. 38). Опуская трубку съ мѣшечкомъ въ воду,

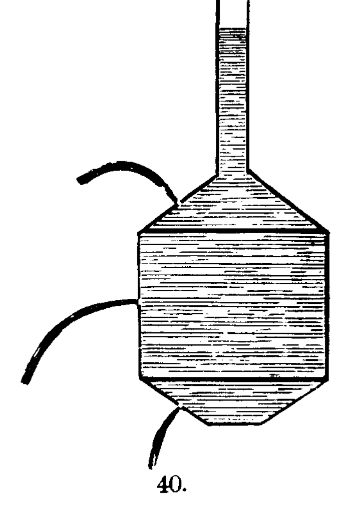
мы увидимъ, что столбъ жидкости въ открытомъ колѣнѣ трубки B повысится, и тѣмъ больше, чѣмъ глубже мѣшечекъ будетъ погруженъ. Воздухъ въ мѣшечкѣ сжимается давленіемъ воды — тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше жидкости находится надъ нимъ. Если станемъ передвигать мѣшечекъ въ водѣ, удерживая его на одной и той же глубинѣ, то жидкость въ трубкѣ B не будетъ перемѣщаться: давленіе воды на протяженіи одного и того же горизонтальнаго слоя одинаково. Замѣтимъ, что здѣсь не имѣетъ значенія ни форма сосуда съ водою, ни разстояніе мѣшечка отъ его стѣнокъ: жидкость сдавлена больше или меньше въ зависимости только отъ глубины.

50*. Удобоподвижность частицъ жидкости имѣетъ слѣдствіемъ то, что каждая частица, находящаяся подъ давленіемъ выше-лежащихъ, передаетъ давленіе всѣмъ сосѣднимъ частицамъ. Поэтому жидкость, сдавленная тяжестью ея самой, будетъ давить по всѣмъ направленіямъ — не только внизъ, но и въ стороны, и вверхъ. Это видно напр. изъ слѣдующихъ опытовъ.

Если въ боковой стѣнкѣ ведра съ водою сдѣлать отверстіе, то вода бьетъ изъ него струею, изъ чего и видно существованіе бокового давленія или напора; приложивъ къ отверстію палецъ, мы прямо можемъ чувствовать это давленіе. Оно всегда направлено перпендикулярно къ стѣнкѣ сосуда (какъ и показано на рис. 39 стрѣлками). Если бы сосудъ имѣлъ форму, изображенную на рис. 40, то струйки жидкости, оставаясь перпендикулярными къ стѣнкамъ, конечно били бы въ разныя стороны.



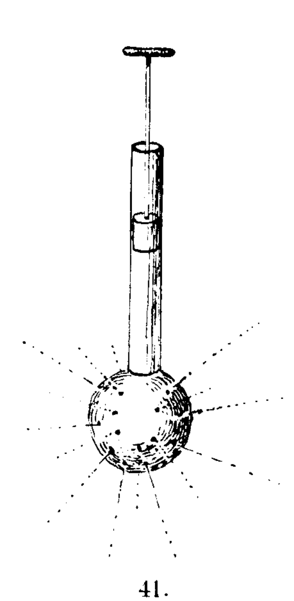
39.



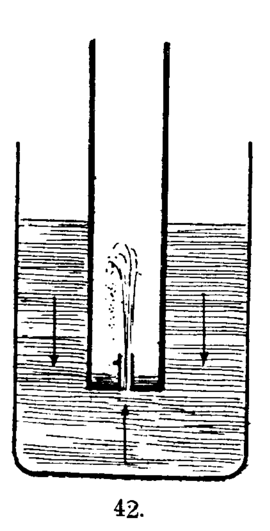
40.

Если сильно надавливать на воду, наполняющую шаровой резервуаръ съ отверстіями, помощью поршня, то выбрасываемыя струйки будутъ имѣть у выхода направленіе радіусовъ шара (рис. 41).

Погрузимъ въ воду стеклянный цилиндръ (ламповое стекло), нижній конецъ котораго закупоренъ пробкой съ пропущенной сквозь нее тонкой стеклянной трубочкой: вслѣдствіе напора жидкости снизу, вода брызнетъ вверхъ въ видѣ фонтана (рис. 42).



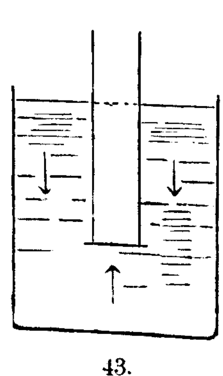
41.



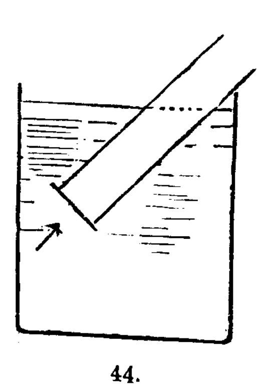
42.

Давленіе жидкости снизу вверхъ легко замѣтить и по тому противодѣйствію, какое оказывается водою при погруженіи въ нее всякой пустой банки. Банку придется болѣе или менѣе нагрузить (дробью и т. п.), чтобы она оставалась опущенною въ воду до краевъ. Попробуемъ вдавить въ воду ведро, держа его отвѣсно, дномъ книзу, и мы увидимъ, какъ это трудно.

51*. На погруженный предметъ жидкость давитъ со всѣхъ сторонъ. Какъ только будетъ устранено давленіе съ одной стороны, давленіе съ противоположной тотчасъ станетъ замѣтнымъ. Возьмемъ стеклянный цилиндръ, прикроемъ его снизу стеклянной (пришлифованной)



43.

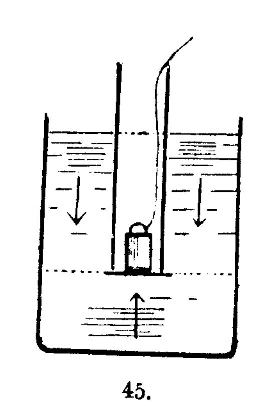


44.

пластинкой и опустимъ въ воду: пластинка давленіемъ воды будетъ прижата къ цилиндру (рис. 43). Мы имѣемъ здѣсь именно дѣйствіе односторонняго давленія: пластинка удерживается давленіемъ воды снизу, потому что давленіе на нее сверху устранено. Если наклонимъ цилиндръ (рис. 44), то пластинка не отпадетъ, потому что и теперь подвержена одностороннему давленію жидкости [1].

Въ разныхъ положеніяхъ цилиндра (рис. 43 и 44) давленіе на пластинку направлено перпендикулярно къ ней. Въ покоящейся жидкости иначе и быть не можетъ: если бы давленіе было не перпендикулярно къ площадкѣ, которой жидкость касается, а наклонно, то прилегающія къ площадкѣ частицы жидкости не могли бы оставаться въ покоѣ, а стали бы скользить вдоль нея. Подобнымъ образомъ шарикъ, придавливаемый къ доскѣ, можетъ остаться на мѣстѣ только тогда, когда надавливающая сила направлена перпендикулярно къ доскѣ.

52. Опытъ съ цилиндромъ позволяетъ легко опредѣлить и величину давленія жидкости на данной глубинѣ. Представимъ себѣ, что на пластинку — при отвѣсномъ положеніи цилиндра — положенъ грузъ какъ разъ достаточный, чтобы уравновѣсить давленіе на нее воды снизу (рис. 45): величина этого груза (то или иное число граммовъ) и покажетъ давленіе жидкости на пластинку — если конечно пренебречь собственнымъ вѣсомъ послѣдней.

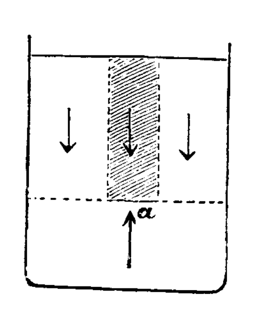


45.

Но того же можно достичь еще иначе. Вливая въ цилиндръ воды, увидимъ, что пластинка отпадаетъ, когда уровень воды въ цилиндрѣ сравняется съ наружнымъ. (Собственно она отпадаетъ немного раньше — почему?) Въ этотъ моментъ слѣдов. давленія жидкости снизу и сверху взаимно уравновѣшиваются. Итакъ вѣсъ влитой воды укажетъ намъ величину силы, съ какою жидкость давитъ на пластинку.

[1] Движеніе воды, выбрасываемой струею изъ отверстія въ боковой стѣнкѣ сосуда или же въ видѣ фонтана (§ 50), очевидно есть также слѣдствіе односторонняго давленія.

Наконецъ мы можемъ просто представить себѣ внутри жидкости горизонтальную площадку *a*: она будетъ подвержена со стороны жидкости двумъ равнымъ противоположнымъ давленіямъ, изъ которыхъ каждое равняется вѣсу столба жидкости, стоящаго надъ площадкой (онъ заштрихованъ на рисункѣ 46).



46.

53. Къ тому же окончательному выводу мы могли бы придти путемъ слѣдующаго простого соображенія, основываясь на характерномъ для жидкости свойствѣ — удобоподвижности частицъ. Мысленно выдѣленный изъ общей массы столбъ жидкости, заштрихованный на рисункѣ, имѣетъ тотъ или другой вѣсъ; хотя онъ ничѣмъ не связанъ (не скрѣпленъ) съ остальною жидкостью, онъ однако не падаетъ, а удерживается на мѣстѣ; слѣдов. его вѣсъ долженъ уравновѣшиваться противодѣйствующимъ давленіемъ жидкости. Мы имѣемъ здѣсь одно изъ многочисленныхъ явленій равновѣсія, въ сущности очень сходное съ примѣрами, уже разобранными выше (§ 35).

Итакъ давленіе воды (сверху, а слѣдов. и снизу) на горизонтальную площадку, взятую на данной глубинѣ, найдемъ, вычисляя вѣсъ стоящаго надъ нею вертикальнаго столба воды.

54*. Представимъ себѣ напр. на глубинѣ 25 дюйм. подъ поверхностью горизонтальную площадку въ 1 кв. дюймъ. Надъ этой площадкой стоитъ отвѣсный столбъ воды въ 25 д. высотою: такой столбъ, заключающій 25 куб. д. воды, вѣситъ 1 фунтъ (см. выше, § 46). Слѣд. площадка испытываетъ давленіе сверху равное 1 фунту. Таково же давленіе на нее снизу, потому что оба давленія взаимно уравновѣшиваются.

На всемъ протяженіи горизонтальнаго слоя, взятаго на глубинѣ 25 д. подъ поверхностью, вода сдавлена съ силою 1 ф. на кв. дюймъ. На глубинѣ 50 д. давленіе будетъ = 2 ф. на кв. дюймъ. И т. д.

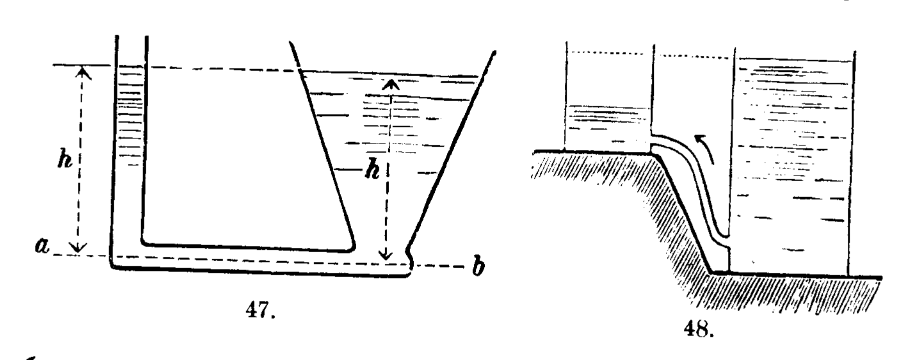
Если на глубинѣ напр. 20 сантим. подъ поверхностью воды представимъ себѣ горизонтальную площадку въ 1 кв. см., то стоящій надъ нею вертикальный столбъ воды будетъ

содержать 20 куб. см., т. е. будетъ вѣсить 20 грам. (см. § 46). Слѣд. давленіе воды на глубинѣ 20 см. подъ поверхностью будетъ = 20 гр. на каждый кв. см.; на глубинѣ 50 сантим. оно = 50 гр. на кв. см. и т. д.

Положимъ еще, что въ сосудъ съ прямостоящими стѣнками налита вода, и мы хотимъ знать, съ какою силою она давитъ на его дно (предполагая дно горизонтальнымъ). Такъ какъ давленіе на дно здѣсь очевидно равняется столькимъ фунтамъ или граммамъ, сколько вѣситъ вода, то для рѣшенія вопроса оставалось бы лишь взвѣсить воду. Но того же можно достичь простымъ вычисленіемъ, измѣривъ глубину воды и площадь дна. Пусть уровень воды въ сосудѣ находится на высотѣ 20 см. надъ его дномъ. Тогда давленіе на каждый кв. см. площади дна = 20 граммамъ. Если вся площадь дна равна напр. 50 кв. см., то общее давленіе на дно (въ настоящемъ случаѣ и вѣсъ воды) составитъ 1000 гр., или 1 килограммъ. При глубинѣ воды въ 40 см. давленіе на то же дно равнялось бы 2 килогр. И т. д.

Сказанное относится конечно и до всякой другой жидкости, съ тою лишь разницею, что давленіе ея на данной глубинѣ будетъ больше или меньше, чѣмъ въ водѣ, смотря по тому, какова относительная плотность жидкости (больше или меньше единицы).

55*. Въ сосудахъ, сообщающихся другъ съ другомъ, напр. трубкою, жидкость въ состояніи покоя держится на одномъ горизонтальномъ уровнѣ, хотя бы сосуды



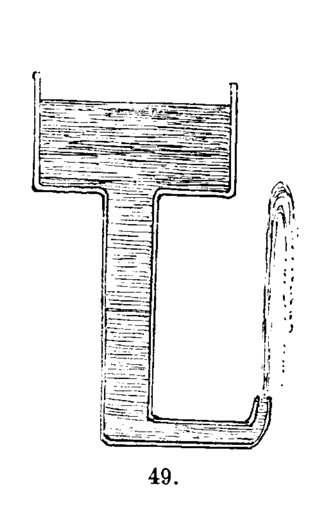
47. 48.

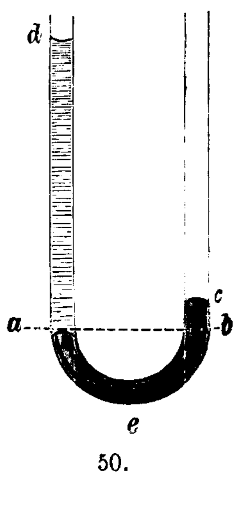
были очень различныхъ размѣровъ и формы (рис. 47). Если опредѣлимъ, съ какою силою жидкость, дѣйствіемъ собственной тяжести, давитъ на кв. единицу горизонтальнаго слоя *ab*, т. е. на одной и той же глубинѣ (*h*) подъ поверх-

ностью, то найдемъ, что это давленіе въ обоихъ сосудахъ одинаково именно при равенствѣ уровней.

Если уровни различны, то жидкость будетъ перетекать изъ сосуда съ высшимъ уровнемъ въ сосудъ съ низшимъ, пока высоты въ обоихъ не сравняются. Надо имѣть въ виду, что здѣсь совершенно безразлично, каково положеніе дна сосудовъ (см. рис. 48, гдѣ стрѣлкою обозначено направленіе, по которому жидкость перетекаетъ въ зависимости отъ разности уровней).

На этомъ началѣ основывается напр. устройство водопроводовъ. — Если одинъ изъ сообщающихся сосудовъ ниже уровня жидкости въ другомъ и заканчивается небольшимъ отверстіемъ, то жидкость выбрасывается изъ него въ видѣ „фонтана" (рис. 49) [1].


49.



50.

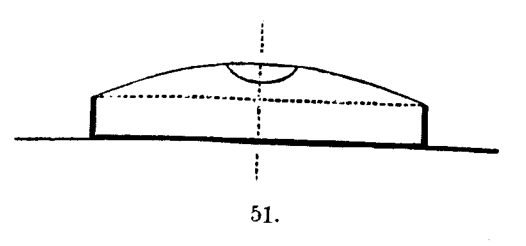
56*. Вообще жидкость, подверженная дѣйствію тяжести, всегда стремится течь отъ мѣстъ съ высшимъ уровнемъ къ мѣстамъ съ низшимъ, подобно тому напр., какъ гладкій шарикъ на волнистой поверхности скатывается въ наиболѣе низкія мѣста. Теченіе жидкости подъ дѣйствіемъ тяжести — не что иное, какъ замедленное паденіе. Можно сказать напр., что вода текущей рѣки медленно падаетъ, пока не опустится настолько, что будетъ ближе къ земному центру, чѣмъ во всѣхъ другихъ частяхъ своего пути.

57. Если въ двухколѣнную трубку нальемъ двѣ разныя жидкости, то при равновѣсіи уровень той изъ нихъ будетъ выше, которая легче. Напр. вода и ртуть располагаются приблиз. такъ, какъ показано на рис. 50. Проведя мысленно горизонтальную плоскость по низшему уровню *a* болѣе тяжелой жидкости, мы отдѣлимъ тѣ два жидкихъ столба (*ad* и *bc*), давленіе которыхъ взаимно уравновѣшивается (потому что нижележащая часть жидкости *aed*, уравновѣшивающаяся сама собою, ничего не прибавляетъ къ этимъ давленіямъ). Ртутный столбъ (*bc*) будетъ во столько разъ ниже водяного (*ad*), во сколько ртуть тяжелѣе воды, т. е. приблиз. въ $13^1/_2$ разъ. Это соотношеніе останется неизмѣннымъ, хотя бы оба колѣна трубки (сообщающіеся сосуды) были очень различныхъ размѣровъ и формы.

[1] Фонтанъ не достигаетъ той высоты, которую имѣетъ жидкость въ другомъ сосудѣ; этому мѣшаетъ обратно падающая жидкость, треніе движущейся жидкости о стѣнки отверстія и сопротивленіе воздуха.

---

31. За неимѣніемъ ватерпаса, нельзя ли провѣрить горизонтальность доски стола или полки посредствомъ стакана съ водою? Посредствомъ правильно выточеннаго шарика?—Какъ складываніемъ четвертушки бумаги получить уголъ весьма близкій къ прямому? (Сложить бумагу *вчетверо* такъ, чтобы сложенные края хорошо совпадали другъ съ другомъ). — Цилиндрическая (металлическая) коробочка, наглухо закрытая стеклянной слегка шаровидной крышкою, содержитъ жидкость и незанятый ею пузырекъ (см. рис. 51). Когда основаніе прибора горизонтально, пузырекъ устанавливается посрединѣ. Почему? („Уровень съ пузырькомъ"). — **33**. 1) Какъ великъ уголъ, составленный отвѣсными прямыми, проведенными на земномъ экваторѣ и одномъ изъ полюсовъ земли? Каковъ уголъ, составленный горизонтальными плоскостями тѣхъ же мѣстъ?— *Географическая широта* Петербурга 60°, а Харькова 50°; каковъ уголъ между отвѣсными линіями этихъ точекъ земного шара? между соотвѣтствующими горизонтальными плоскостями? (Сдѣлать чертежи).—**2**) На какомъ разстояніи по земной поверхности (предполагая ее сравненною съ поверхностью океана) должны находиться двѣ отвѣсныя прямыя, чтобы онѣ составляли между собою уголъ въ 1°, въ 1′, въ 1″? *Отв.* Одному градусу меридіана соотвѣтствуетъ на землѣ разстояніе около 105 верстъ; на такомъ слѣдов. разстояніи должны быть отвѣсы, чтобы уголъ между ними равнялся 1°. (Чертежъ). Отсюда углу въ 1″ будетъ соотвѣтствовать въ саженяхъ разстояніе $\frac{105.500}{60.60}$, или около $14^1/_2$ саж. [1]).—


51.

[1] Или приблизительно въ футахъ $\frac{105 \cdot 3500}{3600}$ = почти 105 фут., т. е. 15 саженъ.

3) Перевести 105 вер. въ километры, принимая 15 вер.=16 км., и вычислить то же разстояніе въ метрахъ. *Отв.* Кругл. счетомъ 31 м.—**4**) Вычислить разстояніе, соотв. углу въ 1^0, болѣе точно, принимая діаметръ земли въ среднемъ=11935 верст., а отношеніе окружности къ діаметру (число π)=$^{22}/_7$. *Отв.* $\frac{11935.22}{7}=$ 37510 вер.; $\frac{37510}{360}$=104,2.—**5**) Всякое тѣло на землѣ стремится упасть какъ можно ниже. Что значитъ „ниже“ и „выше“ на земномъ шарѣ? Почему высоты считаются отъ уровня океана? Изобразивъ окружность земли (или собственно морской поверхности) кругомъ, какъ еще можно судить на чертежѣ, которая изъ двухъ точекъ *выше*, если одна находится напр. подъ широтою Петербурга, а другая — Харькова, или одна въ сѣверномъ полушаріи, другая въ южномъ?—**6**) Что мѣшаетъ четвертушкѣ бумаги, падая, слѣдовать отвѣсному направленію?—**35**. Назвать примѣры движущихъ причинъ или *силъ*, кромѣ силы тяжести, и указать нѣсколько случаевъ равновѣсія силъ. Обратить вниманіе на то, что во всѣхъ случаяхъ, когда на тѣло, какъ принято говорить, „дѣйствуетъ сила“, мы въ сущности имѣемъ дѣло съ *дѣйствіемъ на него другого тѣла*. Не оправдывается ли это и въ случаѣ „силы тяжести?“— **37**. Какъ посредствомъ приспособленія, описаннаго въ этомъ §, узнать, во сколько разъ одинъ предметъ вѣситъ больше другого, принявъ за единицу вѣсъ мѣдной копѣйки или серебрянаго гривенника? Какъ *взвѣсить* предметъ въ доляхъ фунта, имѣя кромѣ того полуфунтовую гирю?—**38**. Какъ наносятся дѣленія на шкалу пружинныхъ вѣсовъ?—На вѣсъ 1 фунта приходится приблизительно 128 копѣекъ мѣдной (не очень потертой) монеты. Какъ, за неимѣніемъ подъ рукою гирь, взвѣсить тѣло въ *лотахъ* съ помощью мѣдной монеты? Сколько мѣдной монеты придется на 1 лотъ? (Лотъ — вѣсовая единица, принятая у насъ для почтовыхъ пакетовъ и писемъ).—Какъ *перекладываніемъ грузовъ* съ одной чашки на другую провѣрить обыкновенные вѣсы въ отношеніи ихъ равноплечности, если нѣтъ двухъ гирь одинаковаго вѣса или если въ равенствѣ ихъ вѣса нельзя быть увѣреннымъ? (Послѣ перекладыванія *уравновѣшенныхъ грузовъ* равновѣсіе обыкновенно болѣе или менѣе нарушается; вѣсы *достаточно вѣрны*, если уклоненіе отвѣчаетъ столь малому перегрузку, что имъ при взвѣшиваніи позволительно пренебрегать).—Нельзя ли при взвѣшиваніи *жидкости* обойтись безъ предварительнаго взвѣшиванія сосуда? (Уравновѣшиваніе или „тарированіе“ сосуда—дробью, пескомъ, насыпаемыми во что нибудь на другую чашку вѣсовъ).— **39**. При взвѣшиваніи „замѣною“ на невѣрныхъ вѣсахъ, узнаёмъ ли мы попутно и вѣсъ дроби, положенной на другую чашку? Найдемъ ли мы вѣсъ вещи, если положимъ разновѣски не на мѣсто вещи, а на мѣсто дроби? Какимъ образомъ по тому же способу (замѣною) *отвѣсить требуемое количество*, напр. 100 грам., сыпучаго тѣла или жидкости?—Взвѣсивъ—по способу замѣны—

гирю въ $^1/_4$ фунта граммовымъ разновѣсомъ, положимъ, нашли ея вѣсъ равнымъ 102 грам. и 5 децигр. (102,5 грам.). Какое отсюда выходитъ отношеніе фунта къ грамму и грамма къ золотнику?—На какую долю (на сколько сотыхъ) фунта килограммъ менѣе $2^1/_2$ фунтовъ, если считать 1 килогр.=2,44 ф.? Изобразить *графически*, двумя прямолинейными отрѣзками, сравнительную величину вѣса въ 1 килограммъ и $2^1/_2$ фунтовъ, пользуясь линейкой съ дѣленіями на сантиметры и миллиметры. *Отв.* Такъ какъ отношеніе 2,5 : 2,44 = 250 : 244 = 62,5 : 61, то для чертежа, удобно умѣщающагося на страницѣ, можно взять напр. два отрѣзка длиною въ $62^1/_2$ и 61 миллиметровъ:

2½ фунта

Килограммъ

41. Какъ наносятся дѣленія на шкалу (циферблатъ) пружиннаго силомѣра, показывающаго пуды или килограммы? Какъ съ помощью такого силомѣра выразить въ вѣсовыхъ единицахъ мышечную силу человѣка въ разныхъ случаяхъ тяги и давленія, тягу движущей экипажъ лошади, давленіе вѣтра на площадь заданной величины? — **43—45**. **1**) Почему плотность тѣлъ относятъ къ плотности воды, а не какого-либо весьма обыкновеннаго *твердаго* тѣла, напр. желѣза? — **2**) Что значатъ выраженія: относ. плотн. золота 19, отн. плотн. льда $^9/_{10}$ (0,9)? — Если какой нибудь объемъ воды вѣситъ 10 фунт. или 10 килогр., то сколько будетъ вѣсить такой же объемъ золота, льда? — **3**) Кусокъ металла алюминія вѣситъ 54 грам., а равный ему объемъ воды 20 грам.; какова относ. плотность алюминія? — **4**) Найти отн. плотн. краснаго дерева, если кусокъ его вѣситъ 36 грам., а равный объемъ воды 48 грам.— **5**) Опредѣляя относительную плотность *жидкости*, зачѣмъ исключать вѣсъ сосуда? Отчего нельзя вѣсъ данной жидкости+вѣсъ сосуда раздѣлить на вѣсъ воды+вѣсъ того же сосуда? *Отв.* Пусть скляночка, вмѣщающая воды 10 гр., а ртути 136 гр., сама вѣситъ 14 гр.; сдѣлавъ дѣленіе какъ только что предположено, мы получили бы частное $\frac{150}{24}$ = 6,25. Если именно къ двумъ неравнымъ числамъ прибавимъ поровну, то отношеніе полученныхъ чиселъ будетъ уже иное, чѣмъ первоначально взятыхъ.— **6**) Какое значеніе можетъ имѣть *температура* при опредѣленіи отн. плотности тѣлъ?

*Вопросы на зависимость между вѣсомъ, объемомъ и отн. плотностью (къ §§ **46**, **47**).*

При рѣшеніи этихъ вопросовъ надо имѣть въ виду слѣдующія соотношенія, принимаемыя съ большею или меньшею степенью приближенія:

Одинъ куб. дюймъ воды вѣситъ $^1/_{25}$ фунта = 0,04 ф. = 0,001 пуда; 1 куб. футъ воды вѣситъ 69 $^1/_8$ ф. или точнѣе 1,728 пуда. Ведро (750 куб. дюйм.) вмѣщаетъ 30 ф. воды.

Кубическій сантиметръ воды вѣситъ 1 граммъ, куб. дециметръ (литръ) воды—1 килограммъ, а куб. метръ—1 тонну (1000 килогр., 61 пуд.).

Затѣмъ для справокъ можетъ быть полезна слѣдующая табличка отн. плотности нѣсколькихъ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ *въ округленныхъ числахъ* (см. также свѣдѣнія, сообщенныя въ текстѣ, § 47).

Вода 1.

Пробка	0,15—0,2	Мѣдь (литая)	8,5—8,9
Дерево обыкновенныхъ породъ *сухое*	0,4—0,8	Свинецъ	11,4
Ледъ	0,9	Золото	19,3
Черное дерево	1,2	Платина литая	21,5
Черенков. сѣра	2	„ плющеная	22
Обыкн. стекло	2,4—2,6	Вин. спиртъ (безводн.)	0,8
Горный хрусталь	2,65	Вода океановъ	1,03
Мраморъ	2,65—2,8	Насыщен. растворъ обыкн. соли	1,2
Алюминій	2,7—2,8	Сѣрная кислота	1,8
Чугунъ	7—7,7	Ртуть при 0°	13,6
Желѣзо	7,8		

1) Во сколько разъ ртуть тяжелѣе виннаго спирта? *Отв.* Въ 17.—Во сколько разъ платина тажелѣе пробки? (Относ. плотности 22 и 0,15). *Отв.* почти въ 150. — Во сколько разъ *объемъ* куска алюминія (отн. пл. 2,8) больше, чѣмъ куска свинца того же вѣса? *Отв.* Въ 4 слишкомъ.—**2**) Вычислить вѣсъ куб. фута чугуна, считая отн. плотность его = 7. *Отв.* Куб. футъ воды вѣситъ $\frac{1}{25} \cdot 1728$ или почти $69^1/_8$ ф., а чугуна въ 7 разъ больше, т. е. 12 пуд. съ небольшимъ (12 п. $3^7/_8$ ф.).—Или: куб. дюймъ воды вѣситъ $\frac{1}{25.40} = 0,001$ пуда, куб. футъ воды 0,001. 1728 = 1,728 пуда, а куб. футъ чугуна $1,728 \times 7 = 12,096$ п.—**3**) Вычислить вѣсъ куб. фута сухого сосноваго дерева, отн. плотн. котораго $^1/_2$. *Отв.* $69^1/_8 : 2 = 34^9/_{16}$ ф. Точнѣе $\frac{1728}{25.2} = 34,56$ ф., или $1,728 : 2 = 0,864$ пуда.—**4**) Сколько граммовъ вѣситъ 1 куб. сантиметръ чугуна, литой платины? *Отв.* 7 гр., $21^1/_2$ гр. (платина втрое тяжелѣе чугуна). Сколько граммовъ вѣситъ 1 куб. см. желѣза, ртути, льда, виннаго спирта? Почему вѣсъ 1 куб. см. тѣла въ граммахъ и отн. плотн. его численно одинаковы? Сколько *килограммовъ* вѣситъ 1 *куб. дециметръ* тѣхъ же матерьяловъ? *Литръ* ртути, виннаго спирта?—**5**) Сколько *тоннъ* вѣситъ 1 *куб. метръ* воды? Каковъ вѣсъ ледяной глыбы, объемъ которой 10 куб. метровъ? *Отв.* Куб. метръ = 1000 куб. дцм., 1 куб. дцм. воды вѣситъ 1 килогр., а льда 0,9 килогр.; слѣд. вѣсъ куб. метра льда = 900 кг. = 0,9 тонны, а 10 куб. метр. 9 тоннъ. Или: куб.

метръ воды вѣситъ 1 тонну, а 10 куб. м.—10 тоннъ; отн. плотн. льда 0,9; слѣдов. 10 куб. м. льда вѣсятъ 9 тоннъ.—Сколько тоннъ вѣсятъ 2 куб. метра гранита отн. плотн. $2^1/_2$?—**6**) Изъ стекляннаго сосуда требуется изготовить мензурку съ дѣленіемъ на куб. сантиметры. Какъ нанести дѣленія не чрезъ отмѣриваніе объемовъ воды, а путемъ ея взвѣшиванія?—**7**) Мензуркою отмѣрено 20 куб. см. воды; сколько вѣситъ эта вода? Сколько вѣсили бы 20 куб. см. сѣрной кислоты отн. плотн. 1,8? *Отв.* Сѣрная кислота вѣсила бы 36 гр.—Какой объемъ (сколько куб. см.) занимаютъ 1000 грам. воды?—**8**) Найти вѣсъ 1 куб сажени мрамора отн. плотн. 2,7. *Отв.* $1,728 \times 343 \times 2,7$ = почти точно 1600 пуд.—**9**) Найти вѣсъ ведра керосина, котораго отн. плотн. 0,85. *Отв.* $25^1/_2$ ф.—Сколько вѣситъ сорокаведерная бочка виннаго спирта (отн. пл. 0,8)? Насыщеннаго раствора обыкн. соли (отн. пл. 1,2)? *Отв.* 24 п.; 36 п.—**10**) Сколько килограм. ртути войдетъ въ обыкновенную бутылку, которой вмѣстимость $^5/_8$ литра? *Отв.* $8^1/_2$ кг., т. е. слишкомъ полпуда.—**11**) Сколько вѣситъ чугунная „баба“ (для вбиванія свай) съ квадратнымъ основаніемъ въ 1 кв. футъ и вышиною 3 фута, если она сдѣлана изъ матерьяла отн. плотн. $7^1/_2$? *Отв.* Объемъ всей массы 3 куб. фута, а ея вѣсъ $69^1/_8 . 3 . 7^1/_2$ фунт., или почти 39 пуд. Точнѣе вѣсъ „бабы“ = $1,728 \times 3 \times 7,5 = 38,88$ пуд.—**12**) Вычислить вѣсъ чугунной массы приблиз. тѣхъ же размѣровъ въ метрическихъ единицахъ, принявъ 1 футъ = 30 сантим. *Отв.* Объемъ 30.30.90 = 81000 куб. см. = 81 куб. дециметр.; вѣсъ 81.7,5 = 607,5 килогр.—**13**) Найти вѣсъ квадратной дубовой балки съ поперечнымъ сѣченіемъ въ 1 кв. футъ и длиною 3 сажени; отн. плотн. дубоваго дерева 0,8. *Отв.* $69^1/_8 . 21 . 0,8$ фунт., или 29 пуд. съ небольшимъ. Болѣе точный отвѣтъ получается чрезъ умноженіе 1,728 п. на 21 и на 0,8.—**14**) Найти вѣсъ квадр. дубовой балки приблиз. тѣхъ же размѣровъ въ метрич. единицахъ; 1 футъ = 30 см. *Отв.* Объемъ 30.30.21.30 = 567000 куб. см. = 567 куб. дцм.; вѣсъ 567.0,8 = 453,6 килогр.—**15**) Какъ великъ *объемъ*, занимаемый: a) 5 фунтами воды, b) 5 фунтами ртути, c) однимъ пудомъ сухого сосноваго дерева? *Отв.* 125 куб. д.; $\frac{125}{13,6} = 9,19$ куб. д.; 2000 куб. д.—**16**) Какъ великъ объемъ, занимаемый: a) 50 граммами, 50 килогр. воды, b) 680 граммами, килограммами ртути, c) 1 тонной сухого сосноваго дерева? *Отв.* a) 50 куб. см.; 50 куб. дцм. (литровъ); b) $\frac{680}{13,6} = 50$ куб. см., 50 куб. дцм. (литровъ); c) 2 куб. метра.—**17**) Кирпичъ, котораго размѣры $10^1/_2$, $5^1/_4$ и $2^3/_4$ дюйм., вѣситъ 12 ф.; найти отн. плотн. матерьяла кирпича. *Отв.* $12 : (\frac{21}{2} \cdot \frac{21}{4} \cdot \frac{11}{4} \cdot \frac{1}{25})$ = почти 2 (1,98).—**18**) Куб. футъ пробки вѣситъ $13^4/_5$ фунта. Какова отн. плотн. пробки? *Отв.* Отношеніе вѣсовъ куб. фута пробки и воды = $13^4/_5 : \frac{1728}{25} = \frac{69.25}{5.1728}$, или почти $^1/_5$.—**19**) Стеклянный кубъ, котораго ребро 5 см., вѣситъ

$306^1/_4$ гр. Найти отн. плотн. стекла, изъ котораго сдѣланъ кубъ. *Отв.* Отношеніе вѣса стекляннаго куба къ вѣсу равнаго объема воды $\frac{306,25}{125} = 2,45$.—**20)** Какимъ образомъ, имѣя правильную прямоугольную деревяшку, опредѣлить отн. плотн. дерева, изъ котораго она сдѣлана?—Прямоугольный брусокъ изъ сухой сосны („кирпичикъ" для дѣтскихъ построекъ) длиною 13,4 см., шириною и толщиною по 1,9 см., вѣсилъ 25,4 гр.; найти отн. плотн. дерева. *Отв.* 0,52.—Такой же брусокъ изъ чернаго дерева вѣситъ 580, гр.; какова отн. плотн. чернаго дерева? *Отв.* 1,2 (черное дерево—настоящее—тяжелѣе воды). — **21)** Деревянная модель, по которой хотятъ отлить бронзовую вещь, вѣситъ 10 ф. Сколько металла пойдетъ для отливки, если отн. плотн. бронзы $8^1/_2$, а дерева $^1/_2$?—Сколько *килограммовъ* будетъ вѣсить бронзовая вещь, если отн. плотн. дерева была 0,62 и если считать 1 ф. = 410 грам.? *Отв.* 8,5:0,62 = 13,7; слѣд. отлитая вещь будетъ вѣсить 137 ф. = 56,2 кг.—**22)** Кусокъ минерала содержитъ внутри полость, не имѣющую выхода наружу; вѣсъ куска 109 грам. Какъ приблизительно опредѣлить объемъ полости, если извѣстно, что отн. плотн. минерала (въ сплошной массѣ) = 2,6? *Отв.* Пусть кусокъ вытѣсняетъ собою $83^1/_2$ куб. см. воды; тогда объемъ полости $= 83,5 - \frac{109}{2,6} = 41^1/_2$ куб. см.—**23)** Неправильный обломокъ горнаго хрусталя по виду можно смѣшать съ кускомъ чистаго стекла. Но отн. плотн. стекла около 2,5, а горнаго хрусталя 2,65. Какой рядъ взвѣшиваній надо сдѣлать, чтобы установить различіе между кусками?—**24)** Отн. плотн. безводнаго виннаго спирта при обыкн. температурѣ 0,79. Изъ двухъ образчиковъ продажнаго спирта плотн. 0,81 и 0,85 который содержитъ больше воды?—Водный спиртъ, составленный смѣшеніемъ 80 объемн. частей спирта съ 20 об. частями воды—т. наз. 80% спиртъ—имѣетъ относ. плотн. 0,863. Какими взвѣшиваніями убѣдиться, что мы имѣемъ въ рукахъ именно такой 80% спиртъ?—**48**. Указать на нѣкоторыя явленія тяжести сыпучихъ тѣлъ (зерновой хлѣбъ, мука, песокъ), которыми они напоминаютъ собою жидкости.—**50**. Какимъ образомъ можно было бы измѣрить давленіе, производимое жидкостью (напр. водою) на данной величины площадку (1 кв. дюймъ, 1 кв. см.) боковой стѣнки сосуда? Какъ воспользоваться для этого упругостью пружины или какимъ приборомъ? (см. § 41).—**51**. Какими способами можно достать отпавшую пластинку изъ воды, не погружая руки до дна сосуда? *Отв.* Устранивъ давленіе воды на пластинку сверху (3 пріема) или пользуясь давленіемъ атмосфернаго воздуха.—**54**. Какъ велико давленіе воды на каждый кв. дюймъ поверхности рыбы, находящейся на глубинѣ 1 версты подъ водою? *Отв.* $\frac{42000}{25.40} = 42$ пуд. На сколько оно будетъ больше въ морской водѣ отн. пл. 1,03? Почему это давленіе не вредитъ рыбѣ и конечно даже не замѣчается ею?—Вычислить давленіе воды на дно прямоугольнаго акваріума, котораго длина 1 арш., а ширина $^1/_2$ арш., если высота воды надъ дномъ равна 10 дюйм. *Отв.* Площадь дна = 28 . 14 = 392 кв. д.; давленіе воды на каждый кв. дюймъ площади дна составляетъ $^{10}/_{25}$ или $^2/_5$ ф.; слѣд. давленіе на дно (въ настоящемъ случаѣ и вѣсъ воды въ акваріумѣ) = 392. $^2/_5$ ф., т. е. почти 4 пуд.—Рѣшить тотъ же вопросъ въ метр. мѣрахъ, принимая дюймъ = $2^1/_2$ см. *Отв.* 70. 35. 25 = 61250 грам. = 61,25 килогр.—Сколькимъ фунтамъ равняется давленіе отвѣснаго столба воды съ основаніемъ въ 1 кв. д. и высотою 34 фута? Отвѣснаго столба ртути съ такимъ же основаніемъ и 30 дюймовъ высотою? *Отв.* То и другое = $16^1/_3$ ф. (16,32 ф.).—Опредѣлить давленіе вертикальнаго водяного столба съ основаніемъ въ 1 кв. см. и высотою 10,34 м.;—давленіе столба ртути съ такимъ же основаніемъ и высотою въ 76 см. *Отв.* Округленно 1034 гр. = 1,034 кг.—**55**. Чтобы рѣшить вопросъ, насколько поднимается вода въ водопроводныхъ трубахъ города, снабжаемаго изъ бассейна водонапорной башни, откуда считать высоту воды: отъ уровня почвы, отъ уровня воды въ рѣкѣ, или же отъ какой ниб. другой поверхности? (См. 5-й вопр. къ § 33).—Что заставляетъ воду бить вверхъ въ естественныхъ фонтанахъ, называемыхъ „артезіанскими колодцами"?—**56**. Горизонтальна ли поверхность спокойно текущей рѣки?

IV.

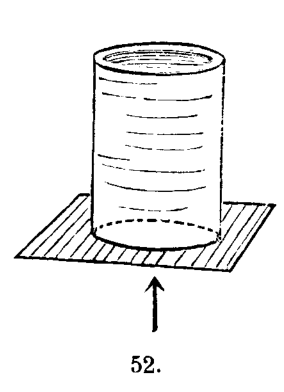
Тяжесть воздуха и атмосферное давленіе.

Атмосферное давленіе.

58. Воздухъ высоко простирается надъ земною поверхностью, и нижніе слои его сдавлены тяжестью всего находящагося надъ нимъ воздуха. Сжатый воздухъ, въ свою очередь, давитъ на всѣ земные предметы. Обыкновенно мы не замѣчаемъ этого давленія; но на существованіе его указываютъ множество явленій. Вотъ нѣкоторыя изъ нихъ.

Изъ наполненнаго водою сосуда (стакана, бутылки), опрокинутаго краями въ воду, какъ намъ извѣстно (§ 14), жидкость не выливается. Почему? Такъ какъ вода не прикрѣплена къ стѣнкамъ сосуда, то поддерживаніе столба воды можно объяснить себѣ только дѣйствіемъ нѣкотораго давле-

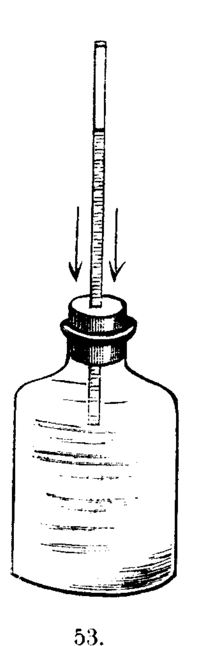
нія на поверхность воды въ сосудѣ. На нее именно давитъ воздухъ; надъ водою же внутри сосуда воздуха нѣтъ: нѣтъ и атмосфернаго давленія. — Можно наполнить стаканъ водою и, накрывъ его листкомъ бумаги, осторожно опрокинуть (придерживая сперва бумагу рукою): вода не выльется изъ стакана, такъ какъ будетъ поддерживаться давленіемъ воздуха на бумагу (рис. 52).


52.

Возьмемъ еще трубку съ плотно пригнаннымъ къ ней поршнемъ. Вдвинувъ поршень до самаго конца трубки, опустимъ этотъ конецъ въ воду и будемъ вытягивать поршень: вода станетъ подниматься вслѣдъ за нимъ и можетъ быть такимъ образомъ поднята на значительную высоту. То, что заставляетъ воду, повидимому вопреки тяжести, подниматься въ трубкѣ, есть опять давленіе воздуха на поверхность воды въ сосудѣ: при вытягиваніи поршня оно вгоняетъ воду въ освобождающееся подъ поршнемъ пространство.

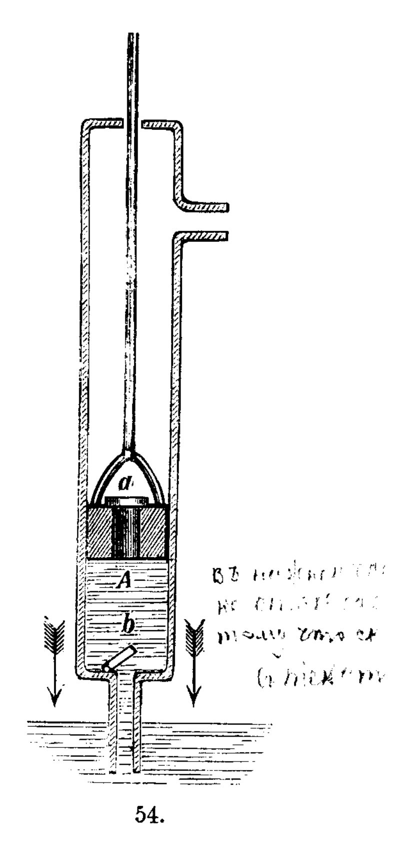
Если бы мы вставили въ горло склянки, до краевъ наполненной водою, пробку съ трубочкой (рис. 53) и стали бы нажимать на пробку рукою (какъ показываютъ стрѣлки), то вода поднялась бы въ трубочкѣ. Нѣчто подобное происходитъ и въ разсматриваемыхъ нами случаяхъ.

Спрашивается, до какой высоты можетъ подняться вода при вытягиваніи поршня, если подъ нимъ вовсе не осталось воздуха? Такъ какъ вода гонится вверхъ дѣйствіемъ атмосфернаго давленія, то наибольшая высота, на которую вода поднимается, конечно должна зависѣть отъ величины атмосфернаго давленія. Опытъ показываетъ, что эта высота, круглымъ счетомъ, около 5 саженъ или около 10 метровъ. Поэтому, зная предѣльную высоту поднятія воды вслѣдъ за поршнемъ, мы можемъ со-


53.

ставить себѣ понятіе и о величинѣ атмосфернаго давленія.

59. Извѣстно, что для поднятія воды ее часто „накачиваютъ" насосами. Обыкновенный (такъ наз. „всасывающій") водяной насосъ отличается отъ простой трубки съ поршнемъ, которой мы только что пользовались, лишь нѣкоторыми подробностями. Въ трубѣ, нижній конецъ которой погруженъ въ воду, можетъ вверхъ и внизъ двигаться поршень (рис. 54). Поршень снабженъ „клапаномъ" (*a*), устройство котораго таково, что позволяетъ ему открываться только вверхъ. Другой клапанъ (*b*), открывающійся также только вверхъ, имѣется у нижняго входа въ трубу. (Клапаны можно пожалуй сравнить съ форточками нашихъ оконъ). При поднятіи поршня вода, гонимая атмосфернымъ давленіемъ, приподнимаетъ клапанъ (*b*) и устремляется въ освобождающееся подъ поршнемъ пространство; въ то же время клапанъ поршня остается закрытымъ. Положимъ, что въ самомъ началѣ поршень былъ опущенъ вплоть до уровня воды; тогда при его поднятіи все пространство *A* заполнится водою. При слѣдующемъ затѣмъ опусканіи поршня клапанъ *b* конечно тотчасъ закроется, а клапанъ въ поршнѣ откроется, и вода выйдетъ изъ подъ поршня. И т. д. Съ каждымъ вытягиваніемъ поршня вода въ насосѣ будетъ подниматься выше и выше. Дѣйствіе этого съ давнихъ временъ извѣстнаго прибора и послужило ближайшимъ поводомъ къ разрѣшенію вопроса объ атмосферномъ давленіи.



54.

60. Чтобы ближе освоиться съ атмосфернымъ давленіемъ, надо имѣть въ виду слѣдующее.

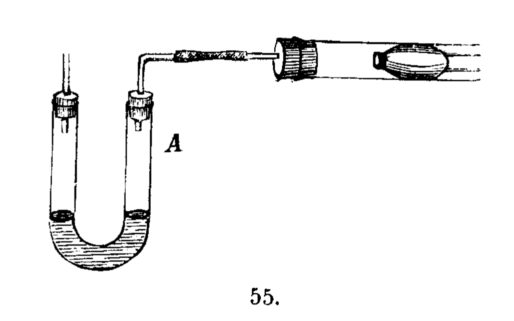
1) Мы живемъ на днѣ воздушнаго океана, окруженные сильно сдавленнымъ воздухомъ, и это давленіе передается въ воздухѣ, какъ въ жидкостяхъ, по всѣмъ направленіямъ. Напр. воздухъ, заключенный въ склянкѣ,

давитъ изнутри на ея дно и на стѣнки—давитъ съ силою, которая во много разъ превосходитъ давленіе, зависящее собственно отъ вѣса воздуха въ сосудѣ. Какъ полъ комнаты, такъ и ея стѣны и потолокъ подвержены давленію воздуха, наполняющаго комнату. Положимъ, что изъ помѣщенія, находящагося надъ нашей комнатой, былъ бы удаленъ воздухъ; если бы потолокъ былъ для воздуха непроницаемъ, то онъ неминуемо былъ бы разрушенъ (продавленъ вверхъ) давленіемъ комнатнаго воздуха—это покажетъ намъ самое простое вычисленіе. Нѣчто сходное представляетъ напр. и давленіе воды; на достаточной глубинѣ подъ поверхностью оно еще гораздо больше атмосфернаго. Если наполнить водою сосудъ на большой морской глубинѣ и, плотно закупоривъ, извлечь его изъ воды, то давленіе изнутри, не сдерживаемое давленіемъ извнѣ, окажется въ состояніи разорвать сосудъ съ очень прочными стѣнками,—тогда какъ вѣсъ воды въ сосудѣ будетъ сравнительно ничтоженъ.

2) Воздухъ, какъ тѣло газообразное, относится къ производимому на него давленію иначе, чѣмъ вода и другія жидкости. Жидкость имѣетъ нѣкоторый опредѣленный объемъ, который весьма мало уменьшается дѣйствіемъ давленія. Напротивъ, объемъ даннаго количества воздуха можетъ измѣняться въ очень широкихъ границахъ. Вмѣстѣ съ тѣмъ измѣняются плотность воздуха и давленіе его на стѣнки сосуда. Если нѣкоторое количество воздуха сдавить до меньшаго объема, то воздухъ уплотнится, и давленіе его на стѣнки сосуда увеличится сравнительно съ первоначальнымъ (атмосфернымъ). Наоборотъ, стóитъ лишь дать воздуху возможность расшириться—и его плотность, а вмѣстѣ съ тѣмъ давленіе, станутъ меньше. То и другое весьма просто достигается напр. съ помощью закупоренной на одномъ концѣ трубки со вставленнымъ въ нее поршнемъ (выше, рис. 5). Для краткости обыкновенно называютъ воздухъ уплотненнымъ или „сжатымъ“, если его плотность больше, чѣмъ атмосфернаго воздуха близъ земной поверхности, и „разрѣженнымъ“, если меньше. На самомъ же дѣлѣ воздухъ, какъ бы мала ни была его плотность, всегда болѣе или менѣе „сжатъ“ тѣми преградами, которыя мѣшаютъ ему расширяться.

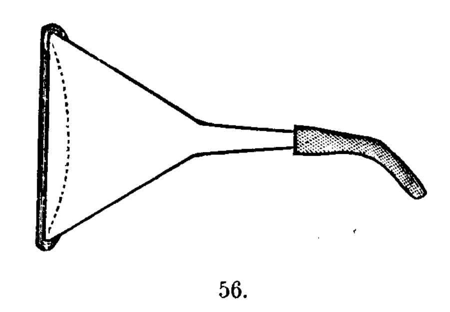
61. Изъ множества опытовъ, указывающихъ на измѣненіе давленія воздуха вмѣстѣ съ измѣненіемъ его объема, возьмемъ слѣдующіе.

Сообщимъ одинъ конецъ U-образной стеклянной трубки (рис. 55) съ цилиндромъ, въ которомъ можетъ передвигаться поршень; въ трубку вольемъ воды. При извѣстномъ положеніи поршня уровень воды въ обѣихъ вѣтвяхъ трубки будетъ одинаковъ, какъ будто бы трубка была съ обѣихъ сторонъ открыта: это и значитъ, что давленіе воздуха въ замкнутомъ пространствѣ *A* одинаково съ давленіемъ наружнаго воздуха. При постепенномъ вдвиганіи поршня вода выталкивается въ лѣвую вѣтвь, указывая тѣмъ на увеличивающееся въ цилиндрѣ давленіе воздуха, которое беретъ перевѣсъ надъ атмосфернымъ; затѣмъ воздухъ начинаетъ выходить сквозь воду наружу. Наоборотъ, при вытягиваніи поршня давленіе воздуха въ цилиндрѣ уменьшается, и перевѣсъ наружнаго давленія гонитъ воду (а потомъ и воздухъ сквозь воду) въ обратную сторону.



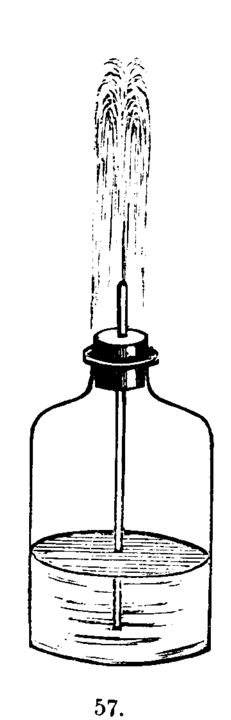
55.

Вмѣсто двухколѣнной трубки *A* (предыдущаго опыта) возьмемъ стеклянную воронку, затянутую растяжимой перепонкой (резиновымъ колпачкомъ). Вдвигая поршень, мы конечно произведемъ вспучиваніе перепонки. При выдвиганіи поршня, наоборотъ, перепонка будетъ вдавлена перевѣсомъ атмосфернаго давленія (рис. 56). При этомъ все равно, въ какомъ положеніи держать воронку: воздухъ давитъ одинаково по всѣмъ направленіямъ.


56.

Фонтанъ, дѣйствующій давленіемъ сжатаго—сравнительно съ атмосфернымъ—воздуха, можно произвести съ помощью простого прибора, устройство котораго понятно изъ рис. 57.

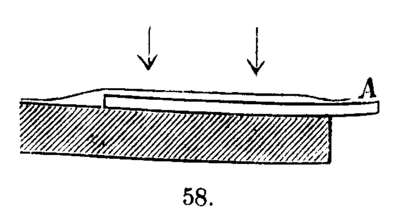
Стóитъ лишь, взявъ оттянутый кончикъ выходной трубки въ ротъ, усиліемъ щекъ вогнать въ склянку побольше воздуха и тѣмъ повысить его давленіе. — Но можно заставить бить воду фонтаномъ и иначе. Вставимъ трубку оттянутымъ кончикомъ внутрь склянки—безъ воды—такъ, чтобы кончикъ лишь немного выставлялся изъ пробки. Разрѣдивъ въ склянкѣ воздухъ (напр. ртомъ), закроемъ трубку пальцемъ, опрокинемъ приборъ и погрузимъ трубку въ воду; если теперь отнимемъ палецъ, то вода брызнетъ фонтаномъ внутрь склянки.



57.

Если цилиндръ со вдвинутымъ въ него поршнемъ плотно закрыть и, вытянувъ поршень, отпустить его, то онъ будетъ втолкнутъ обратно перевѣсомъ атмосфернаго давленія надъ давленіемъ болѣе разрѣженнаго внутренняго воздуха,— притомъ безразлично при всякихъ положеніяхъ цилиндра.

Наконецъ слѣдующій простой опытъ показываетъ, какое большое дѣйствіе можетъ оказать атмосферное давленіе на одну сторону доски, если давленіе воздуха ослаблено съ другой. Положимъ на столъ дощечку такъ, чтобы она немного выдавалась за край стола (рис. 58); тогда достаточно будетъ конѣчно легкаго толчка по выдающемуся краю дощечки, чтобы она упала. Но если покроемъ лежащую на столѣ часть дощечки листомъ бумаги, то сильнымъ ударомъ кулака по краю *A* намъ не удастся сбить дощечки съ мѣста. Дѣло именно въ томъ, что при короткомъ ударѣ воздухъ подъ дощечкой разрѣжается (наружный не успѣваетъ проникнуть подъ нее — этому мѣшаетъ бумага); поэтому давленіе наружнаго воздуха беретъ перевѣсъ и прижимаетъ дощечку къ столу. Напротивъ, при постепенномъ

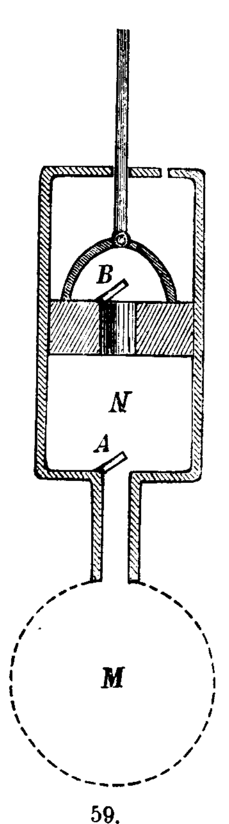


58.

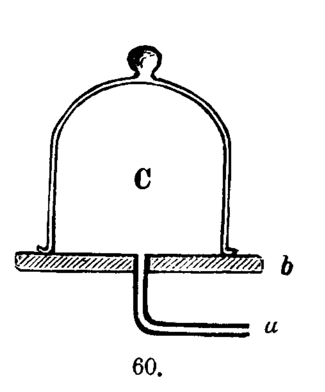
надавливаніи на край, воздухъ проникаетъ подъ нее, давленія снизу и сверху выравниваются, и дощечку легко опрокинуть. (Для успѣха опыта ударъ долженъ быть сильный, отрывистый, а бумага плотно прилегать къ столу; въ такомъ случаѣ легче сломать дощечку, чѣмъ сбить ее съ мѣста).

Воздушный насосъ.

62. Назначеніе воздушнаго насоса, какъ мы уже знаемъ, состоитъ въ томъ, чтобы разрѣжать воздухъ въ сосудѣ, пользуясь большою расширяемостью газообразныхъ тѣлъ. Въ обыкновенныхъ воздушныхъ насосахъ, вмѣсто описанныхъ выше крановъ, которые нужно было бы поворачивать рукою (§ 7, рис. 9), устраиваются самодѣйствующіе клапаны. На рис. 59 изображенъ въ простѣйшемъ видѣ цилиндръ воздушнаго насоса, дѣйствующаго клапанами (оба клапана *A*, *B*, изображены для ясности открытыми). Каждый клапанъ есть родъ крышки, плотно закрывающей отверстіе и легко приподнимающейся (сравн. съ клапанами водяного насоса). При вытягиваніи поршня, воздухъ подъ нимъ разрѣжается, давленіе воздуха въ сосудѣ *M* беретъ перевѣсъ, и клапанъ *A* откроется; клапанъ поршня (*B*) остается пока закрытымъ вслѣдствіе перевѣса атмосфернаго давленія. При вдвиганіи, воздухъ подъ поршнемъ сожмется, закроетъ клапанъ *A*, откроетъ *B* и выйдетъ наружу. То же самое повторяется при послѣдующихъ выдвиганіяхъ и вдвиганіяхъ поршня. Съ каждымъ вытягиваніемъ поршня часть воздуха выходитъ изъ сосуда *M*, а съ каждымъ вдвиганіемъ этотъ воздухъ выталкивается наружу. Воздухъ въ сосудѣ становится все



59.



60.

рѣже и рѣже. — Обыкновенно къ цилиндру присоединяется (помощью трубки *a* рис. 60) гладко отполированная тарелка *b*, на которую ставится стеклянный колпакъ *C*. Или сообщаютъ цилиндръ насоса съ горлышкомъ, сдѣланнымъ въ верхней части колпака, который тогда помѣщается на гладкую стеклянную пластинку безъ отверстія (см. ниже, рис. 62). Изъ подъ колпака и выкачиваютъ воздухъ.

Положимъ для примѣра, что вмѣстимость сосуда *M* равняется вмѣстимости цилиндра (при поднятомъ поршнѣ). Тогда при поднятіи поршня воздухъ сосуда *M* распредѣлится по-ровну въ *M* и *N*, т. е. половина воздуха изъ сосуда *M* перейдетъ подъ поршень; слѣдов. въ *M* останется половина прежняго количества воздуха. Послѣ второго вытягиванія поршня, въ *M* останется половина этой половины, т. е. $1/4$ первоначальнаго количества воздуха. Послѣ третьяго выдвиганія, его останется $1/8$ и т. д. Нетрудно разсчитать, что послѣ 10-го поднятія поршня въ сосудѣ *M* осталось бы менѣе тысячной (именно $1/1024$) первоначальнаго количества воздуха: воздухъ будетъ разрѣженъ слишкомъ въ 1000 разъ противъ атмосфернаго.

Положимъ, что мы продолжаемъ дѣйствовать поршнемъ. Достигнемъ ли мы наконецъ того, чтобы въ сосудѣ *M* вовсе не осталось воздуха? Очевидно нѣтъ, ибо послѣ каждаго вытягиванія поршня въ сосудѣ *M* остается часть бывшаго въ немъ прежде воздуха. Если бы вмѣстимость цилиндра была значительно больше, напр. въ 9 разъ больше вмѣстимости сосуда *M*, то все же при каждомъ вытягиваніи поршня въ сосудѣ *M* оставалась бы $1/10$ часть прежняго воздуха. Слѣдовательно этимъ путемъ нельзя удалить изъ сосуда всего воздуха, нельзя достичь „пустоты"; можно лишь разрѣдить воздухъ—тѣмъ сильнѣе, чѣмъ дольше продолжалось выкачиваніе. Нѣкоторые неизбѣжные недостатки въ устройствѣ воздушныхъ насосовъ не позволяютъ однако вести разрѣженія дальше извѣстныхъ границъ, и воздушный насосъ этого рода можно считать очень хорошимъ, если онъ разрѣжаетъ воздухъ въ 1000 разъ противъ атмосфернаго. Въ устройствѣ хорошихъ насосовъ впрочемъ много подробностей, которыя дѣлаютъ ихъ приборами довольно сложными.

63*. Опыты съ воздушнымъ насосомъ. Съ воздушнымъ насосомъ можно дѣлать много интересныхъ опы-

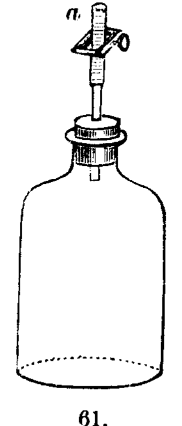
товъ; ограничимся здѣсь наиболѣе для насъ важными (впослѣдствіи мы встрѣтимся еще и съ другими примѣненіями этого замѣчательнаго прибора).

1) Если подъ колпакъ поставить банку, плотно закупоренную пробкой, то при дѣйствіи насоса пробка будетъ выброшена вслѣдствіе перевѣса внутренняго воздушнаго давленія надъ наружнымъ.

2) Подъ колпакъ насоса кладутъ резиновый тонкостѣнный мячикъ: при выкачиваніи воздуха онъ раздуется. Мыльная пѣна въ склянкѣ сильно вспучивается. (Можно и прямо сообщить горло склянки съ цилиндромъ маленькаго воздушнаго насоса—вродѣ изображеннаго выше на рис. 9).

3) Самый колпакъ въ этихъ случаяхъ такъ крѣпко прижимается къ тарелкѣ дѣйствіемъ атмосфернаго давленія, что его невозможно оторвать рукой. — Слѣдующій опытъ также очень нагляденъ. Двѣ мѣдныхъ тарелки (или два полушарія), края которыхъ пришлифованы и смазаны саломъ, складываются вмѣстѣ и присоединяются, помощью трубки съ краномъ, къ воздушному насосу. Послѣ того, какъ воздухъ въ нихъ будетъ достаточно разрѣженъ, кранъ закрываютъ и отдѣляютъ тарелки отъ насоса. Онѣ оказываются сильно прижатыми другъ къ другу. („Магдебургскія полушарія").

4) Чтобы обнаружить вѣсомость воздуха, берутъ склянку, закупоренную резиновой пробкой, въ которую вставлена стеклянная трубочка; на послѣднюю надѣвается кусокъ резиновой трубки съ винтовымъ зажимомъ (рис. 61). Уравновѣсивъ склянку на вѣсахъ, хорошенько разрѣжаютъ въ ней воздухъ и снова помѣщаютъ на чашку вѣсовъ. Убыль вѣса можно опредѣлить, добавляя на ту же чашку надлежащее количество разновѣсокъ.



61.

Если затѣмъ опрокинуть склянку отверстіемъ *a* въ воду и отвернуть зажимъ, то вода съ силою устремится въ склянку и будетъ бить въ ней фонтаномъ [1].

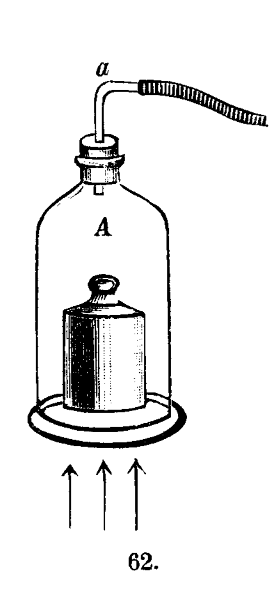
[1] По объему вошедшей въ склянку воды можно приблизительно судить объ объемѣ вышедшаго воздуха. Если убыль вѣса была раньше опредѣлена (обыкновенно въ доляхъ грамма), то, измѣривъ объемъ

5) Подъ колпакъ воздушнаго насоса помѣщаютъ стаканъ, до половины налитый водою. При выкачиваніи, въ водѣ появляется множество пузырьковъ, подымающихся на поверхность. Это—растворенный въ водѣ воздухъ, который выдѣляется изъ нея вслѣдствіе уменьшенія наружнаго давленія.

Опредѣленіе величины атмосфернаго давленія.

64. Мы имѣли достаточно доказательствъ того, какъ значительно атмосферное давленіе. Чтобы опредѣлить, съ какою именно силою давитъ атмосферный воздухъ напр. на каждый квадратный дюймъ поверхности тѣлъ, съ которыми онъ соприкасается, можно поступить такъ.

Возьмемъ стеклянный колпакъ *A* съ хорошо притертой къ его краямъ стеклянной пластинкою. На пластинку внутрь колпака поставимъ гирю, а трубку *a* сообщимъ съ воздушнымъ насосомъ (рис. 62). По мѣрѣ разрѣженія воздуха пластинка все сильнѣе будетъ придавливаться къ колпаку, и скоро можно будетъ приподнять колпакъ за его верхъ вмѣстѣ съ пластинкой и гирей. Конечно грузъ, который можетъ быть такимъ образомъ удержанъ, тѣмъ больше, чѣмъ больше поверхность пластинки (всей ли пластинки, если края ея выступаютъ за края колпака?) Теперь представимъ себѣ, что поверхность пластинки равна одному квадратному дюйму (рис. 63), и что изъ колпака удаленъ весь воздухъ (это почти достигается хорошими насосами). Тогда на пластинку можно было бы помѣстить грузъ около 16 фун-



62.



63.

воды мензуркою (въ кубическихъ сантиметрахъ), узнáемъ приблизительно вѣсъ 1 куб. сантиметра (а отсюда—литра) атмосфернаго воздуха. Литръ комнатнаго воздуха вѣситъ 1 граммъ съ небольшимъ.

товъ: производимое имъ давленіе только что уравновѣсило бы собою давленіе наружнаго воздуха.

65. Къ тому же можно прійти, разбирая дѣйствіе водяного насоса. Мы упоминали, что, вытягивая поршень насоса, можно поднять воду на высоту около 5 саженъ; такъ какъ атмосферное давленіе не всегда одинаково, то и высота поднятія воды нѣсколько измѣнчива; мы примемъ ее въ 34 фута. Давленіе такого водяного столба какъ разъ замѣняетъ собою въ трубѣ насоса давленіе отсутствующаго теперь воздуха. Поэтому можно сказать, что атмосферный воздухъ давитъ такъ, какъ давилъ бы—на площадь равной величины—водяной столбъ высотою въ 34 фута. Итакъ представимъ себѣ 34-футовый водяной столбъ надъ площадкою въ 1 квадр. дюймъ. Онъ будетъ заключать въ себѣ 34.12 или 408 куб. дюйм. воды,—а такой объемъ воды вѣситъ почти $16^1/_3$ фунтовъ.

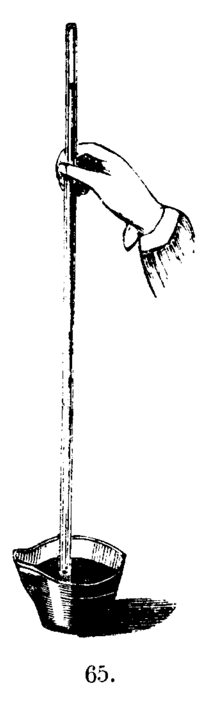
66*. Если взять жидкость болѣе тяжелую, чѣмъ вода, то она будетъ поднята въ насосѣ на меньшую высоту. Возьмемъ ртуть, которая тяжелѣе воды въ $13^3/_5$ (13,6) раза. Столбъ ртути, поддерживаемый атмосфернымъ давленіемъ, долженъ быть въ $13^3/_5$ раза меньше 34 футовъ, что составляетъ всего 30 дюймовъ. Дѣйствительно, вытягивая поршень, можно поднять ртуть въ трубкѣ на высоту лишь около 30 д. (немного болѣе аршина). Это уже гораздо проще провѣрить на опытѣ. Но можно обойтись и безъ поршня, прибѣгнувъ къ слѣдующему простому пріему (опытъ Торричелли).

Запаянную съ одного конца стеклянную трубку, длиною нѣсколько болѣе 30 дюймовъ, наполняютъ до краевъ чистою ртутью и такимъ образомъ удаляютъ изъ трубки воздухъ (рис. 64). Потомъ, плотно закрывъ отверстіе трубки пальцемъ, опрокидываютъ ее въ чашку со ртутью и отнимаютъ палецъ (рис. 65). Держа трубку отвѣсно, измѣряютъ теперь высоту ртутнаго столба надъ уровнемъ ртути въ чашкѣ: она будетъ мало отличаться отъ 30 дюймовъ (если опытъ будетъ сдѣланъ, какъ слѣдуетъ). Надъ ртутью въ трубкѣ — при очень тщательномъ опытѣ — безвоздушное пространство, содержащее лишь нѣкоторое количество ртутныхъ паровъ. Слѣдовательно давленіе воздуха на ртуть съ этой стороны устранено, и давленіе ртутнаго столба какъ разъ замѣняетъ собою то,

которое производилось бы воздухомъ на поверхность ртути въ трубкѣ, если бы послѣдняя была открыта и сообщалась бы съ атмосферою. Значитъ наблюдаемая въ такихъ условіяхъ высота ртутнаго столба (или его вѣсъ) служитъ какъ разъ мѣрою атмосфернаго давленія.

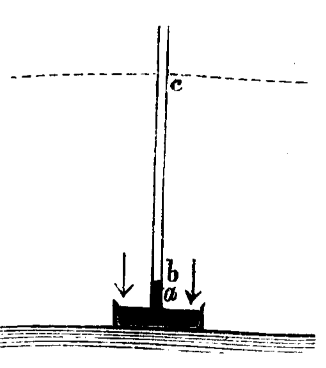
64.

67. Вотъ опытъ, представляющій подражаніе предыдущему,—съ тою разницею, что давленіе атмосфернаго воздуха замѣнено давленіемъ воды. Нальемъ въ высокій стеклянный цилиндръ немного ртути, опустимъ въ нее конецъ (поставленной отвѣсно) стеклянной трубки и затѣмъ наполнимъ цилиндръ водою (рис. 66). Ртуть въ трубкѣ немного поднимется вслѣдствіе давленія воды на поверхность окружающей ртути. Очевидно давленіе ртутнаго столбика *ab* какъ разъ замѣняетъ собою давленіе столбика воды, котораго высота была бы *ac*. Дѣйствительно, стоитъ лишь немного приподнять конецъ трубки надъ поверхностью ртути, и ртуть замѣстится водою, которая тотчасъ поднимется до *c*. Теперь представимъ себѣ вмѣсто воды — воздушную оболочку земли, а трубку, опущенную въ ртуть,—не содержащею воздуха и столь длинною, чтобы верхній конецъ ея выходилъ за предѣлы атмосферы (рис. 67). Тогда ртуть въ трубкѣ поднялась бы: давленіе ея какъ



65.

66.



67.

разъ замѣнило бы собою давленіе воздушнаго столба *ac*. Но въ описанномъ выше опытѣ (Торричелли), наполняя ртутью запаянную съ одного конца трубку, мы лишь иначе достигаемъ той же самой цѣли, такъ какъ удаляемъ воздухъ изъ трубки.

Зависитъ ли высота ртутнаго столба, поддерживаемаго атмосфернымъ давленіемъ, отъ ширины взятой нами трубки? Конечно нѣтъ: въ болѣе широкой трубкѣ столбъ ртути будетъ тяжелѣе, но за то онъ и замѣняетъ собою соотвѣтственно болѣе широкій столбъ воздуха. Легко сдѣлать провѣрочный опытъ съ водой и ртутью (рис. 66), взявъ двѣ трубки разной ширины.

68. Итакъ атмосферный воздухъ давитъ съ такою же силою, съ какою давилъ бы (на площадь равной величины) ртутный столбъ въ 30 дюймовъ высотою. Если бы мы взвѣсили столбъ ртути, имѣющій такую высоту, а основаніе въ 1 кв. дюймъ, то нашли бы, что онъ вѣситъ $16^1/_3$ фунтовъ. Впрочемъ этотъ вѣсъ гораздо проще узнается вычисленіемъ. Столбъ въ 30 д. высотою и съ основаніемъ въ 1 кв. д. вмѣщаетъ 30 куб. дюйм. Куб. дюймъ воды вѣситъ $^1/_{25}$ ф. (см. выше, гл. III, § 46). Такъ какъ ртуть тяжелѣе воды въ $13^3/_5$ раза, то куб. дюймъ ртути вѣситъ во столько же разъ больше, а 30 куб. д. ртути вѣсятъ

$$^1/_{25} \times 13^3/_5 \times 30 \text{ фунтовъ},$$

что составляетъ почти $16^1/_3$ фунтовъ.

Найдемъ еще давленіе воздуха на площадь въ 1 кв. сантим., если высота ртутнаго столба въ опытѣ Торричелли равняется 76 сантим. Весь ртутный столбъ заключаетъ 76 куб. см.; 1 куб. см. воды вѣситъ 1 гр., а ртути 13,6 гр.; слѣдов. вѣсъ столба ртути=13,6.76=1034 гр., или 1 килогр. съ небольшимъ.

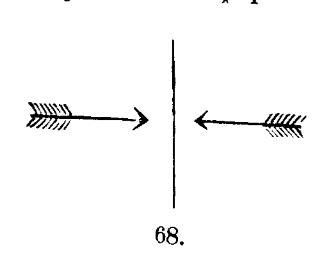
69*. Опредѣливъ давленіе окружающаго насъ воздуха на единицу поверхности, мы теперь легко найдемъ его давленіе на какую либо данную площадь.

Давленіе на площадь въ 1 кв. футъ (=144 кв. д.) сосоставляетъ $16^1/_3 \times 144$ фунт., или почти 59 пудовъ. Примемъ круглымъ счетомъ 60 пуд.

Давленіе на доску стола обыкновенныхъ размѣровъ, положимъ, 4 фут. длины и $2^1/_2$ фут. ширины, т. е. на площадь въ 10 квадр. футовъ, составляетъ около 600 пудовъ.

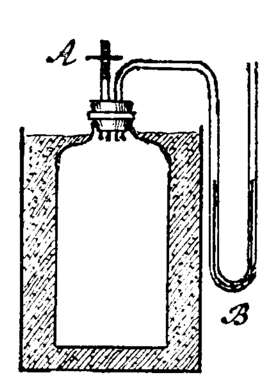
Общую поверхность тѣла человѣка средняго роста можно считать равною 16 кв. футамъ. Давленіе воздуха на такую поверхность около 960 пуд.

Спрашивается, почему это давленіе ничуть не вредитъ предметамъ? Потому именно, что оно (почти) одинаково со всѣхъ сторонъ. Доска стола конечно не выдержала бы давленія на нее атмосфернаго воздуха, если бы оно было устранено снизу или сверху. Тонкостѣнная большая колба была бы тотчасъ же раздавлена атмосфернымъ давленіемъ, если бы оно не встрѣчало противодѣйствія со стороны содержащагося въ колбѣ воздуха. Въ опытахъ съ воздушнымъ насосомъ мы имѣли очень наглядные примѣры того, какія сильныя дѣйствія производятся одностороннимъ давленіемъ воздуха. Атмосферное давленіе обыкновенно даже не замѣчается нами, потому что каждая часть поверхности нашего тѣла подвержена изнутри (благодаря заключеннымъ въ тѣлѣ сжатымъ жидкостямъ и газамъ) точно такому же давленію, какъ снаружи. Если на укрѣпленный за края листокъ бумаги будемъ надавливать пальцемъ, то бумага легко рвется; но она свободно выдерживаетъ очень большое давленіе, если сдавливать ее одновременно съ той и другой стороны (рис. 68). Дѣйствіе двухъ противоположныхъ давленій такой величины, какъ атмосферное, выдерживалось бы безъ вреда даже тканями менѣе прочными, нежели входящія въ составъ нашего тѣла.


68.

70*. Таково давленіе воздуха въ нижнихъ слояхъ атмосферы. Но чѣмъ выше надъ земною поверхностью (или, правильнѣе, надъ уровнемъ моря), тѣмъ атмосферное давленіе должно быть меньше, потому что тѣмъ меньшее количество воздуха давитъ сверху, и тѣмъ разрѣженнѣе будетъ самый воздухъ. Дѣйствительно, если подниматься съ Торричелліевою трубкою (см. § 66) на гору, то ртуть въ трубкѣ мало по малу опускается, указывая тѣмъ на уменьшающееся атмосферное давленіе. Резиновый шаръ, наполненный воздухомъ близъ уровня моря и завязанный, сталъ бы раздуваться по мѣрѣ поднятія. Изъ склянки, закупоренной въ нижнихъ частяхъ атмосферы, часть воздуха выходитъ наружу, если открыть склянку на высотѣ. Напротивъ, если набрать воздуха въ склянку на вершинѣ горы и откупорить у ея подошвы, то нѣсколько воздуха войдетъ въ склянку.

На рис. 69 изображенъ простой приборъ, позволяющій замѣтить уменьшеніе атмосфернаго давленія даже при небольшомъ поднятіи. Склянка (вмѣстимостью въ 75—100 куб. дюймовъ, т. е. 3—4 фунта воды) закупоривается хорошей (лучше резиновой) пробкой съ двумя отверстіями: въ одно вставлена короткая стеклянная трубочка съ резиновымъ наконечникомъ и надѣтымъ на него зажимомъ *A*, а въ другое — колѣнчато изогнутая стеклянная трубка съ узкимъ каналомъ *B*, содержащая подкрашенное вазелиновое масло. Склянка тщательно обертывается со всѣхъ сторонъ нѣсколькими слоями ваты и пропускной бумаги и помѣщается въ банку. (Это дѣлается для защиты воздуха въ склянкѣ отъ измѣненій внѣшней температуры). Уровнявъ сперва (открываніемъ зажима) поверхность масла въ вѣтвяхъ колѣнчатой трубки, когда приборъ находится въ нижнемъ этажѣ зданія, поднимаются съ нимъ по внутренней лѣстницѣ въ верхній этажъ: жидкость замѣтно перемѣщается (въ которую сторону?). Теперь пріоткрываніемъ зажима снова выравниваютъ давленія и опускаются съ приборомъ въ прежнее мѣсто: жидкость настолько же передвигается въ противоположную сторону.— Перемѣщеніе жидкости удается замѣтить даже переставивъ приборъ съ пола на высокій шкапъ или обратно. (Чтобы еще по возможности предотвратить нагрѣваніе прибора отъ близости рукъ ставятъ его въ деревянный ящикъ или глиняную чашку).



69.

Барометръ.

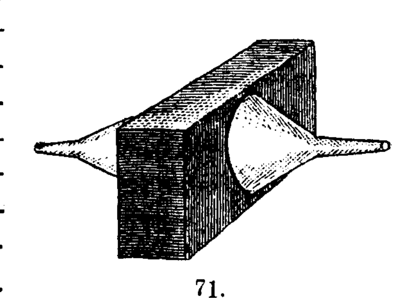
71*. Торричелліева трубка со ртутью, снабженная шкалою съ дѣленіями на дюймы или миллиметры, составляетъ обыкновенный ртутный барометръ. Пространство надъ ртутью, не содержащее воздуха, называется „торричелліе-

вою“ или „барометрическою“ пустотой. По шкалѣ можно прямо отсчитывать высоту ртутнаго столба, служащаго мѣрою атмосфернаго давленія (рис. 70).

Это давленіе измѣняется не только съ перемѣною высоты надъ уровнемъ моря; оно немного измѣнчиво и на одной и той же высотѣ: оно бываетъ и больше, и меньше 30 дюйм. (760 миллим.). Такимъ образомъ показанія барометра въ данномъ мѣстѣ колеблются около нѣкоторой средней величины. Средняя высота ртути въ барометрѣ, находящемся на уровнѣ моря, близка къ 30 дюйм. или 760 мм. Давленіе, соотвѣтствующее высотѣ ртутнаго столба въ 30 д. или 760 мм., условились называть нормальнымъ или давленіемъ въ одну атмосферу. Итакъ нормальное давленіе воздуха — такое, при которомъ барометръ показываетъ 30 д. или 760 мм. Тогда именно воздухъ давитъ съ силою $16^{1}/_{3}$ фунт. на кв. дюймъ, или 1,03 килогр. на квадр. сантиметръ [1].

70.

Воздухъ, содержащійся въ какомъ-нибудь закрытомъ помѣщеніи, напр. въ комнатѣ, сжатъ дѣйствіемъ атмосфернаго давленія въ той же степени, какъ наружный на одинаковой высотѣ. Малѣйшія разницы въ давленіи быстро выравниваются, вслѣдствіе проникновенія воздуха сквозь многочисленныя мелкія щели въ оконныхъ рамахъ и даже сквозь кирпичную кладку стѣнъ [2]. Дѣйствительно, барометръ въ за-



71.

[1] При точныхъ разсчетахъ надо имѣть въ виду, что 760 мм. нѣсколько менѣе 30 дюймовъ, а именно = 29,92 д.; 30 дюйм. соотвѣтствуютъ 762 мм.

[2] Что матерьялъ кирпичныхъ стѣнъ оказывается весьма проницаемымъ для воздуха—въ этомъ можно удостовѣриться слѣдующимъ образомъ. Съ двухъ широкихъ сторонъ кирпича плотно прикрѣпляютъ (менделѣевской мастикой или сюргучомъ, сдѣлавъ сперва круговую борозду) двѣ стеклянныхъ воронки (рис. 71). Если въ одну изъ нихъ нагнетать воздухъ помощью резиноваго мяча (резиновой груши), то можно обнаружить струю воздуха изъ отверстія другой воронки, напр.

крытомъ помѣщеніи (внутри зданія) показываетъ то же самое давленіе, какъ снаружи.

72*. Такъ какъ атмосферное давленіе уменьшается съ повышеніемъ надъ уровнемъ моря, то по среднему показанію барометра можно судить о высотѣ мѣстности. Бóльшая часть свѣдѣній о высотѣ горныхъ вершинъ на земномъ шарѣ получены именно съ помощью барометрическихъ опредѣленій. О высотѣ поднятія воздушнаго шара (аэростата) воздухоплаватель тоже обыкновенно судитъ по показанію барометра.

73. „Барометрическая“ высота, т. е. показаніе барометра, болѣе или менѣе измѣняется съ перемѣнами погоды. Однако названіе „предсказателя погоды“, даваемое барометру въ повседневной жизни, неправильно. Барометръ есть измѣритель атмосфернаго давленія и только. Измѣненія же атмосфернаго давленія находятся въ столь сложной связи съ перемѣнами погоды, что обычное (неумѣлое) наблюденіе барометра совершенно недостаточно для ея предсказанія. Не бóльшаго вниманія заслуживаютъ обыкновенно встрѣчающіяся на барометрахъ надписи: дождь, сушь, великая сушь и т. п. Предсказаніе погоды съ помощью барометра, дѣлаемое метеорологическими обсерваторіями, основывается на особенной системѣ наблюденій, которая имѣетъ очень мало общаго съ обычнымъ „смотрѣніемъ“ на этотъ приборъ.

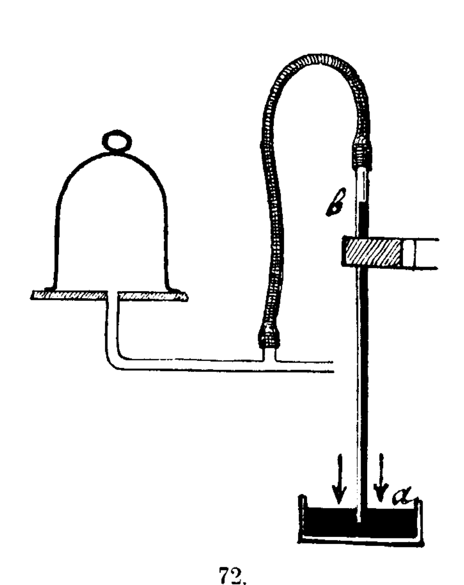
Кромѣ ртутнаго барометра есть и другіе, безъ ртути, занимающіе меньше мѣста и болѣе удобные для переноски (такъ наз. пружинные барометры, съ циферблатомъ и стрѣлкою, или анероиды). Но ртутный барометръ всегда служитъ образцовымъ, нормальнымъ приборомъ, къ показаніямъ котораго приноравливаются шкалы всякихъ другихъ.

74*. Способъ судить о давленіи воздуха по высотѣ поддерживаемаго имъ ртутнаго столба можетъ быть примѣненъ и для опредѣленія давленія разрѣженнаго воздуха, остающагося подъ колпакомъ воздушнаго насоса: стóитъ лишь узнать, какой высоты столбикъ ртути еще мо-

проводя отъ послѣдней резиновую трубку въ воду. Если же эту трубку зажать пружиннымъ зажимомъ и, направивъ ее на пламя свѣчи, дѣйствовать нѣкоторое время мѣхомъ, то при открываніи зажима пламя будетъ погашено воздушнымъ толчкомъ.

жетъ поддерживаться этимъ давленіемъ. Можно напр. поступить такъ.

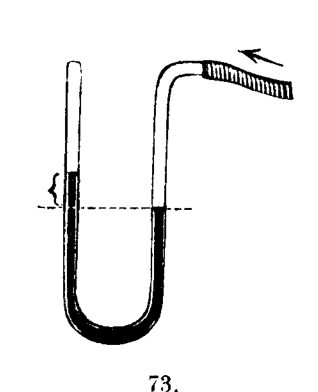
Стеклянную трубку, длиною нѣсколько больше 30 д., открытую съ обоихъ концовъ, сообщаютъ верхнимъ концомъ съ воздушнымъ насосомъ, а нижній опускаютъ въ чашечку со ртутью; трубку устанавливаютъ отвѣсно (рис. 72). По мѣрѣ разрѣженія воздуха подъ колпакомъ воздушнаго насоса, ртуть въ трубкѣ будетъ подниматься. Если бы изъ подъ колпака можно было удалить весь воздухъ, то ртуть въ трубкѣ поднялась бы очевидно до высоты, указываемой въ данное время барометромъ. Если предположимъ, что барометръ показываетъ 30 д., то ртуть поднялась бы въ трубкѣ до этой самой высоты (считая откуда?). Но пусть она въ дѣйствительности поднялась на высоту 28 дюйм. Ясно, что тогда воздухъ, оставшійся подъ колпакомъ, еще давитъ на верхнюю поверхность ртути (b), и именно съ такою силою, какъ столбикъ ртути въ 2 д. высотою. Слѣдовательно давленіе оставшагося подъ колпакомъ разрѣженнаго воздуха въ 15 разъ меньше атмосфернаго, измѣряющагося давленіемъ 30-дюймоваго ртутнаго столба.



72.

Спрашивается, съ силою скольких ъ фунтовъ давитъ воздухъ при этой степени разрѣженія на каждый квадратный дюймъ внутренней поверхности колпака? Это легко узнать, припомнивъ, что при той степени сжатія воздуха, которая измѣряется 30-дюймовымъ ртутнымъ столбомъ, давленіе воздуха на квадр. дюймъ около 16 фунтовъ. Воздухъ подъ колпакомъ давитъ въ 15 разъ слабѣе; слѣдовательно на каждый квадр. дюймъ придется давленіе нѣсколько большее 1 фунта.

Приборы, измѣряющіе давленіе воздуха или другого газа въ замкнутомъ помѣщеніи, называются вообще манометрами. Описанное только что приспособленіе представляетъ собою простѣйшаго рода манометръ; но обыкновенно манометръ при воздушномъ насосѣ имѣетъ слѣдующее болѣе удобное устройство. Изогнутая трубка, одно колѣно которой запаяно и наполнено ртутью (она частью находится и въ другомъ), присоединяется къ воздушному насосу своимъ открытымъ концомъ (рис. 73). Сперва вся ртуть въ трубкѣ поддерживается давленіемъ воздуха на поверхность жидкости въ открытомъ колѣнѣ, такъ какъ закрытое не содержитъ воздуха и имѣетъ высоту всего въ нѣсколько дюймовъ. Но по мѣрѣ разрѣженія воздуха, давленіе его на ртуть уменьшается: ртуть начинаетъ падать въ запаянномъ колѣнѣ и подниматься въ другомъ. Если бы насосомъ можно было удалить весь воздухъ, то ртуть въ обѣихъ вѣтвяхъ трубки очевидно установилась бы на одномъ и томъ же уровнѣ. Но въ дѣйствительности ртуть всегда будетъ стоять выше въ запаянномъ колѣнѣ, и разность уровней ртути въ обѣихъ вѣтвяхъ трубки, выраженная въ дюймахъ (или миллиметрахъ), послужитъ мѣрою давленія остающагося воздуха. Легко видѣть, что приборъ описаннаго устройства есть не что иное, какъ укороченный барометръ. — Хорошими воздушными насосами разность уровней ртути въ обоихъ колѣнахъ манометра доводится до 1 миллиметра и меньше, такъ что давленіе подъ колпакомъ насоса можетъ быть разъ въ 1000 меньше обыкновеннаго атмосфернаго [1].


73.

75. Ртутный воздушный насосъ. Гораздо болѣе сильныя разрѣженія достигаются помощью „ртутнаго“ воздушнаго насоса, дѣйствіе котораго основывается на слѣдующемъ. Присоединимъ къ сосуду съ краномъ (A) трубку длиною не менѣе 30 дюйм., наполнимъ сосудъ и трубку чистою ртутью и опрокинемъ приборъ отвѣсно въ чашку,

[1] Вычисленіе показываетъ, что такова приблизительно степень разрѣженія атмосфернаго воздуха на высотѣ 50 верстъ надъ уровнемъ моря.

въ которой налита ртуть (рис. 74). Такъ какъ атмосферное давленіе можетъ поддержать лишь 30-дюймовый столбъ ртути, то вся ртуть изъ сосуда *A* вытечетъ, и мы получимъ нѣчто вродѣ барометра съ расширеніемъ въ верхней части; въ *A* будетъ безвоздушное пространство (барометрическая пустота). Послѣ этого, закрывъ кранъ, можно будетъ разъединить сосудъ и трубку.

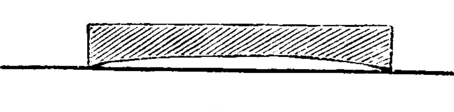
Казалось бы, что этимъ путемъ можно произвести въ сосудѣ совершенную пустоту. На самомъ же дѣлѣ почти нельзя избѣжать того, чтобы нѣкоторое, хотя и ничтожное, количество воздуха не попало въ сосудъ *A*; кромѣ того, въ немъ остаются слѣды ртутныхъ паровъ. Насосы, основанные на этомъ началѣ, позволяютъ однако доводить разрѣженіе до такой степени, что въ сосудѣ остается менѣе милліонной первоначальнаго количества воздуха [1].

74.

Нѣсколько обыденныхъ явленій, связанныхъ съ давленіемъ атмосфернаго воздуха.

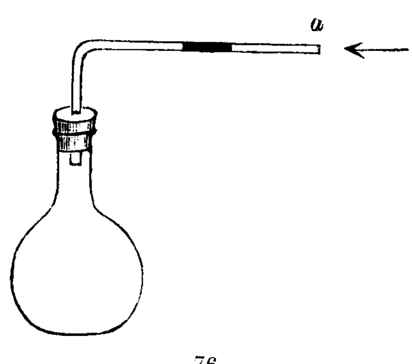
76*. Повсемѣстнымъ присутствіемъ воздуха и его давленіемъ объясняется множество самыхъ обыкновенныхъ явленій, которыя въ нашемъ житейскомъ обиходѣ чаще всего истолковываются совершенно произвольнымъ образомъ.

Мы уже знаемъ, что атмосфернымъ давленіемъ обусловливается поднятіе воды въ обыкновенномъ „всасывающемъ“ насосѣ. Но и другія явленія „всасыванія“ или „присасыванія“ — слѣдствія того же давленія. Напримѣръ, когда мы помощью трубки (или губъ) „всасываемъ“ воду, мы въ дѣйствительности только разрѣжаемъ воздухъ въ полости рта дѣйствіемъ щекъ и тѣмъ самымъ уменьшаемъ давленіе этого воздуха сравнительно съ атмосфернымъ, которымъ вода и вталкивается въ трубку. Наперстокъ, въ которомъ помощью рта разрѣженъ воздухъ, сильно пристаетъ или „присасывается“ къ губамъ и къ мягкой части руки. Если резиновую пластинку съ углубленіемъ вродѣ чашки съ нижней стороны (рис. 75) прижать къ плоскому стеклу или тарелкѣ, то она также пристанетъ къ нимъ (почему?). Присасываніе нѣкоторыхъ слизняковъ (напр. улитки) къ гладкимъ предметамъ объясняется именно тѣмъ, что у нихъ есть мышечный органъ, дѣйствующій подобно упомянутой резиновой пластинкѣ.



75.

Нагрѣемъ воздухъ въ колбѣ, снабженной трубкою, въ которой находится столбикъ воды (рис. 76). Перемѣщеніе столбика къ открытому концу трубки (*a*) покажетъ намъ, что воздухъ расширился. Чтобы помѣшать этому расширенію, мы должны были бы увеличить наружное давленіе на водяной столбикъ—со стороны открытаго конца *a*. Слѣдовательно давленіе внутренняго воздуха, чтобы преодолѣть атмосферное, должно было отъ нагрѣванія увеличиться. При охлажденіи колбы, водяной указатель передвигается въ обратную сторону: слѣдовательно давленіе внутренняго воздуха уменьшается, и перевѣсъ беретъ давленіе наружнаго воздуха. Устранимъ это давленіе, заткнувъ трубку пальцемъ, когда капля находится у ея отверстія, и станемъ охлаждать колбу: капля не передвинется назадъ, слѣдов. объемъ воздуха не уменьшается. Если же отнимемъ палецъ, то капля сразу будетъ втолкнута вслѣдствіе перевѣса наружнаго давленія. Отсюда мы видимъ, какую важную роль играетъ давленіе атмосфернаго



76.

[1] Такія сильныя разрѣженія необходимы при нѣкоторыхъ изслѣдованіяхъ; но они вовсе не нужны для успѣха опытовъ, описанныхъ выше, а равно и многихъ другихъ. Въ большей части случаевъ вполнѣ достаточно обыкновеннаго воздушнаго насоса съ поршнемъ и клапанами (и даже просто съ кранами), доводящаго разрѣженіе до 2 дюймовъ (5 см.) ртутнаго столба.

воздуха въ явленіяхъ расширенія и сжатія газа при измѣненіи его температуры. Не будь атмосфернаго давленія, газъ въ нашей колбѣ не только не сталъ бы сжиматься при охлажденіи, но даже не могъ бы остаться въ ней при открытой съ конца трубкѣ: онъ тотчасъ расширился бы и разсѣялся бы въ пространствѣ.

Атмосферное давленіе принимаетъ дѣятельное участіе при нашемъ питьѣ: когда мы пьемъ, мы не просто вливаемъ напитокъ въ ротъ, а дѣлаемъ ртомъ и щеками „всасывающія" движенія, т. е. въ дѣйствительности разрѣжаемъ воздухъ въ полости рта. Наконецъ самое вдыханіе воздуха есть слѣдствіе того, что мы, увеличивая полость нашей груди и разрѣжая въ ней (въ легкихъ) воздухъ, даемъ перевѣсъ атмосферному давленію.

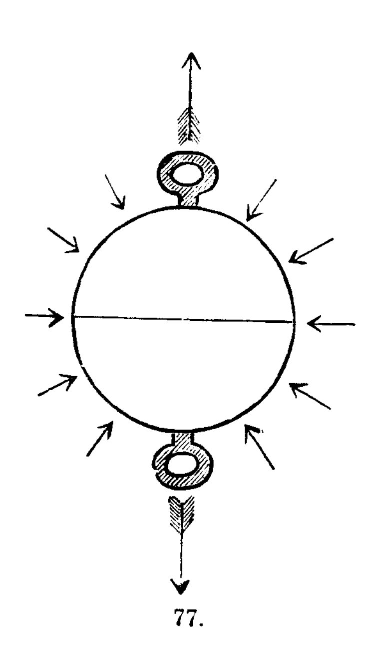
Справочныя свѣдѣнія, могущія понадобиться для рѣшенія нѣкоторыхъ нижеслѣдующихъ вопросовъ. **Нормальная величина атмосфернаго давленія, или „одна атмосфера", соотвѣтствуетъ барометрической высотѣ 30 дюйм. или 760 мм. При этомъ воздухъ давитъ съ силою $16^1/_3$ фунт. на 1 кв. дюймъ, или 1,03 кг. на 1 кв. см.,—величины, которыя во многихъ случаяхъ можно округлять до 16 фн./кв. д. или 1 кг./кв. см. Давленіе въ нижнихъ слояхъ атмосферы на 1 кв. футъ круглымъ счетомъ 60 пуд.**

Водяной столбъ, поддерживаемый атмосфернымъ давленіемъ при нормальной его величинѣ, = 34 фут. или $10^1/_3$ метр.

63. Давленіе воздуха внутри туго надутаго резиноваго мяча равно-ли давленію наружнаго воздуха? По какому внѣшнему виду оболочки можно заключить о равенствѣ внутренняго и наружнаго давленія? Каково давленіе воздуха въ мячикѣ, раздувшемся подъ колоколомъ воздушнаго насоса, сравнительно съ давленіемъ окружающаго его теперь воздуха?—Почему магдебургскія полушарія легко разнимаются до разрѣженія въ нихъ воздуха, не смотря на атмосферное давленіе? Какимъ образомъ давленіе небольшого количества внутренняго воздуха можетъ уравновѣшивать давленіе огромной массы наружнаго?—**66.** Почему въ опытѣ Торричелли мы считаемъ высоту ртутнаго столба не иначе, какъ отъ поверхности ртути въ сосудѣ?—Положимъ, что Торричелліева трубка со ртутью не была бы опущена концомъ въ ртуть, а лишь прикрыта снизу пришлифованной пластинкой (собственнымъ вѣсомъ которой можно было бы пренебречь): въ двухъ трубкахъ, изъ которыхъ одна имѣетъ *поперечное сѣченіе* вдвое большее, нежели другая, уравновѣшивалось ли бы атмосферное давленіе столбомъ одинаковой высоты? (Во сколько разъ давленіе атмосфернаго воздуха на одну пластинку было бы больше, чѣмъ на другую)?—

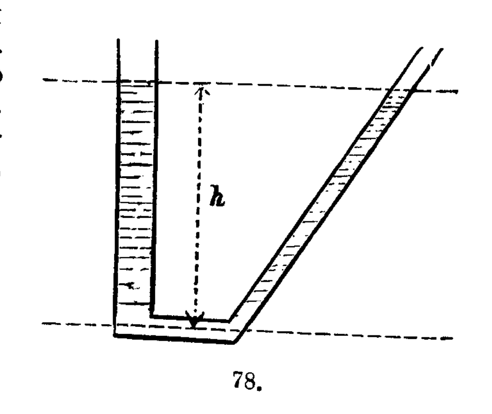
69. 1) Представимъ себѣ кубическій ящикъ въ 1 куб. футъ, содержащій обыкновенный комнатный воздухъ. *Дно* ящика испытываетъ со стороны этого воздуха давленіе около 60 пуд., между тѣмъ какъ самый воздухъ въ ящикѣ вѣситъ лишь около $^1/_{12}$ фунта. Въ чемъ кажущееся противорѣчіе?—Каково давленіе воздуха на остальныя стѣнки ящика?—2) Вычислить давленіе воздуха на полъ, стѣны и потолокъ комнаты, которой длина 35 фут., ширина 30 фут., вышина 10 фут., принимая давленіе на 1 кв. футъ = 60 пуд. *Отв.* Давленіе на полъ = 63000 пуд.—Отчего давленіе на полъ гораздо больше вѣса воздуха въ комнатѣ ($21^7/_8$ пуда—см. выше, гл. I, 2-й вопр. къ § 8)?—3) Опредѣлить давленіе воздуха на полъ той же комнаты въ метрическихъ мѣрахъ, принявъ 1 кв. метръ = $10^1/_2$ кв. фут., а давленіе атмосфернаго воздуха равнымъ 1 кг./кв. см.; результатъ опять выразить въ пудахъ, считая тонну за 60 пуд. *Отв.* Давленіе на полъ = 60000 пуд.—Почему это число не совпадаетъ съ предыдущимъ? Отчего здѣсь можно и даже должно довольствоваться такими грубо-приблизительными рѣшеніями? (Принять для отвѣта во вниманіе измѣняемость давленія на единицу поверхности вмѣстѣ съ измѣненіемъ показанія барометра, которое въ данномъ случаѣ не указано).—4) Насколько измѣнится давленіе на полъ той же комнаты, если показаніе барометра измѣнится на 1 мм. сравнительно съ нормальнымъ? *Отв.* На $\frac{60000}{760}$, или круглымъ счетомъ на 80 пуд.—Если принять такое измѣненіе въ среднемъ на *каждый* миллиметръ, то напр. паденію барометра на 25 мм. (очень обыкновенный случай) отвѣчала бы убыль давленія въ 2000 пудовъ.—5) Найти общее давленіе атмосферы въ *тоннахъ* на поверхность человѣческаго тѣла, принимая ее въ $1^1/_2$ кв. метра (= 16 кв. фут.) и считая давленіе на 1 кв. см. = 1 килограмму. *Отв.* 15 тоннъ (слишкомъ 900 пуд.).—6) Пусть въ послѣднемъ опытѣ § 61 (рис. 58) та часть дощечки, которая лежитъ на столѣ, имѣетъ 1 футъ длины, а ширина дощечки 5 дюйм. Съ какою силою дощечка прижималась бы къ столу, если бы подъ нею совсѣмъ не было воздуха?—7) Магдебургскія полушарія діаметромъ въ 1 дециметръ (сколько примѣрно дюймовъ?) имѣютъ наружную поверхность около 314 кв. см. Каково общее давленіе воздуха на ихъ поверхность? *Отв.* Почти 324 килогр. (сколько примѣрно пудовъ?).—Чтобы ихъ разнять тягою по направленію рукоятокъ (предположивъ, что изнутри удаленъ весь воздухъ), нужна ли сила, превышающая эту величину, или меньшая? (Для отвѣта принять во вниманіе, что давленіе воздуха всегда направлено перпендикулярно къ поверхности, слѣдов. въ настоящемъ случаѣ—по радіусамъ полушарій; это давленіе только въ двухъ точкахъ дѣйствуетъ прямо *противъ* приложенной къ рукояткамъ

тягѣ, которая на рис. 77 изображена большими стрѣлками).— 8) Каково давленіе атмосферы на каждый *кв. миллиметръ* поверхности нашего тѣла? *Отв.* Около 10 гр. (Дѣйствіе двухъ противоположныхъ давленій такой величины—снаружи и изнутри—выдерживалось бы безъ вреда даже тканями менѣе прочными, нежели входящія въ составъ нашего тѣла).—**70**. Отчего именно воздухъ тѣмъ разрѣженнѣе, чѣмъ выше мѣсто надъ уровнемъ моря? Почему для него является возможность расширяться въ верхнихъ слояхъ? Въ чемъ разница между измѣненіемъ плотности воздуха съ высотою и плотности воды на различныхъ морскихъ глубинахъ? — **71—72**. 1) Обыкновенно принимается (съ достаточнымъ въ большинствѣ случаевъ приближеніемъ), что барометрическая высота въ 30 д. значитъ то же, что 760 мм., или 76 см. Пользуясь болѣе точнымъ соотношеніемъ: 15 полусажень = 16 метр., перевести 30 д. въ миллиметры. *Отв.* 30 дюйм. $= \frac{16000.30}{15.42} =$ почти 762 мм. Наоборотъ 760 мм. = 29,92 д.—2) Если наклонить барометръ, показывающій въ отвѣсномъ положеніи 30 д. или 760 мм., то останется ли *длина* ртутнаго столба та же самая? (Надо имѣть въ виду, что наклонный столбъ жидкости уравновѣшивается съ отвѣснымъ, если вертикальная высота *h* того и другого одинакова, см. рис. 78).



77.

Можетъ ли длина ртутнаго столба достичь при этомъ напр. 1 сажени, если взять достаточно длинную трубку? Слѣд., чтобы показанія ртутнаго барометра были правильны, въ какомъ положеніи онъ долженъ находиться при наблюденіи?— 3) Во сколько разъ воздухъ легче воды? *Отв.* Первое приблизительное рѣшеніе, полученное выше (гл. I, § 8), слѣдуетъ изъ того, что 1 куб. футъ комнатнаго воздуха вѣситъ около $^1/_{12}$ ф., а воды—около 69 ф.; 69 больше $^1/_{12}$ въ 800 слишкомъ разъ.—Для болѣе точнаго отвѣта *надо поставить опредѣленнѣе самый вопросъ*, именно условиться относительно температуры и давленія воздуха. Предположимъ воздухъ при „нормальныхъ“ условіяхъ, т. е. при давленіи 760 мм. и температурѣ тающаго льда (0°). Литръ такого воздуха вѣситъ около 1,3 гр.; слѣд. воздухъ, взятый при нормальныхъ условіяхъ, легче воды въ $\frac{1000}{1,3}$ или въ 770 разъ.—**4**) Не будетъ ли разницы въ показаніи барометра у основанія и на крышѣ высокаго зданія? Вычислить эту разницу напр. для высоты 50 саж. (приблиз. высота Исаакіевскаго собора въ Петербургѣ). *Отв.* Давленіе на этой высотѣ будетъ меньше, чѣмъ внизу, на величину давленія столба воздуха въ 50 саж., или 4200 дюйм. высотою. Но воздухъ въ 770 разъ легче воды (см. предыдущ. вопросъ), а вода въ $13^3/_5$ раза легче ртути; поэтому ртуть почти въ 10500 разъ тяжелѣе воздуха. Давленіе воздушнаго столба въ 4200 дюйм. высотою будетъ равняться давленію въ $10^1/_2$ тысячъ разъ меньшаго столба ртути. Слѣдов. барометръ покажетъ на $\frac{4200}{10500}$, или на $^2/_5$ дюйма меньше.—**5**) Пренебрегая опять уменьшеніемъ плотности воздуха на небольшихъ высотахъ, найти, каково должно быть паденіе ртути въ барометрѣ съ повышеніемъ прибора на каждые 100 метровъ. Насколько показаніе барометра будетъ меньше у вершины Эйфелевой башни въ Парижѣ (300 м.) нежели у ея основанія? *Отв.* Паденіе ртути на 100 м. поднятія $= \frac{100.1000}{10500}$ миллим., или $9^1/_2$ мм. Для высоты 300 м. это дастъ $28^1/_2$ мм. (больше или меньше одного дюйма?)—**6**) Почему при точномъ опредѣленіи высотъ надъ уровнемъ моря по показаніямъ барометра надо руководствоваться *среднимъ* атмосфернымъ давленіемъ въ обоихъ пунктахъ, а не случайно наблюденнымъ?—**7**) Барометръ на вершинѣ Монблана показываетъ, положимъ, 18 дюймовъ. Какъ велико тогда давленіе воздуха въ фунтахъ на кв. дюймъ? *Отв.* $\frac{18}{30} \cdot 16^1/_3 = \frac{18.49}{30.3} = 9^4/_5$ фунта.—Съ силою сколькихъ граммовъ на кв. см. давитъ воздухъ при среднемъ давленіи на вершинѣ той же горы, если принять его = 418 мм., а нормальное давленіе у уровня моря (760 мм.) считать равнымъ 1 кг. на кв. см.? *Отв.* Съ силою 550 гр. на кв. см.—**8**) Какой высоты столбъ жидкости съ относ. плотн. 0,8 (винный спиртъ) былъ бы поддержанъ при нормальной величинѣ атмосфернаго давленія, если бы съ жидкостью сдѣлать опытъ вродѣ опыта Торричелли или поднимать ее „всасывающимъ“ насосомъ? *Отв.* $34.^5/_4 = 42^1/_2$ фут., или $10^1/_3 . ^5/_4 =$ почти 13 м.—**74**. Пусть въ опытѣ, соотв. рис. 72, ртуть въ трубкѣ поднялась на 727 мм. при внѣшнемъ (барометрическомъ) давленіи въ 765 мм.: съ силою сколькихъ граммовъ на кв. см. давитъ тогда изнутри воздухъ, если принять нормальное давленіе = 1 килогр. на кв. см.? *Отв.* Разность 765—727 = 38 мм. составляетъ $^{38}/_{760}$ или $^1/_{20}$ нормальной барометрической высоты; искомое давленіе



78.

составитъ такую же долю нормальнаго, т. е. будетъ равно 50 грам. на кв. см.—Въ чемъ преимущество обычнаго при воздушномъ насосѣ манометра—укороченнаго барометра—передъ длинной открытой трубкой, опущенной нижнимъ концомъ въ ртуть, какъ въ только что упомянутомъ опытѣ? Который изъ этихъ пріемовъ даетъ результатъ, не зависящій отъ величины атмосфернаго давленія? Въ какомъ случаѣ трубка можетъ быть гораздо короче?— **76**. Если взять въ ротъ горло бутылки, совершенно наполненной водою, то при „всасываніи“ вода не пойдетъ въ ротъ, даже изъ опрокинутой бутылки, если только въ нее не попадетъ воздуха; почему? Для чего нужно, чтобы въ бутылку проникалъ воздухъ?—Измѣнится ли давленіе воздуха внутри резиноваго мяча, если смявшійся уже (но не прорванный) мячъ нагрѣть, напр. у теплой печи или на солнцѣ? Что будетъ съ мячикомъ, если проткнуть его въ нагрѣтомъ состояніи, и, задѣлавъ отверстіе, дать мячу охладиться до комнатной температуры?—Нальемъ на блюдце немного воды, зажжемъ клочекъ бумаги и быстро покроемъ его стаканомъ, погрузивъ послѣдній краями въ воду. Когда пламя погаснетъ, вода нѣсколько поднимется въ стаканѣ; почему?

Смѣшанные вопросы.—1) Положимъ, что воздухъ надъ землею имѣлъ бы всюду ту самую плотность, какую онъ въ дѣйствительности имѣетъ на уровнѣ моря при барометрической высотѣ 30 д. и температурѣ 0^0. Какова была бы тогда высота атмосферы, которая по своему давленію на морскомъ уровнѣ могла бы замѣнить дѣйствительно существующую? *Отв.* Такъ какъ воздухъ при норм. давленіи и 0^0 въ 10500 разъ легче ртути (см. 4-й вопр. къ § 71), то онъ долженъ былъ бы имѣть высоту въ 30.10500 дюйм., или $7^1/_2$ верстъ, чтобы давить такъ, какъ давитъ 30-дюймовый столбъ ртути.—Найти ту же высоту въ километрахъ, принявъ во вниманіе, что воздухъ давитъ при показаніи барометра въ 760 мм. такъ, какъ водяной столбъ въ $10^1/_3$ м. высоты, и считая, что воздухъ въ 770 разъ легче воды. *Отв.* Почти 8 километровъ.—**2**) Если бы какой-нибудь газъ былъ заключенъ подъ обыкновеннымъ давленіемъ въ цилиндръ съ поршнемъ, то что могло бы произойти въ случаѣ полнаго отсутствія давленія снаружи? Положимъ, что при вертикальномъ положеніи цилиндра вѣсъ поршня позволилъ бы газу расширяться, и что взятъ цилиндръ достаточно длинный. До какихъ поръ продолжалось бы расширеніе газа? Если бы на поршень былъ еще наложенъ нѣкоторый грузъ, то какая была бы разница?—**3**) Положимъ, что цилиндръ (стаканъ, бутылка) лишь частью налитъ водою и опрокинутъ отверстіемъ въ воду (какъ на рис. 16 въ § 14). Почему изъ него не выливается вода? Каковъ воздухъ, заключенный надъ водою въ цилиндрѣ: одинаковой ли онъ плотности съ наружнымъ или нѣтъ? (Принять во вниманіе, что тяжесть воды въ цилиндрѣ влечетъ ее внизъ). Чѣмъ, въ окончательномъ выводѣ, опредѣляется высота воды въ цилиндрѣ надъ ея поверхностью въ наружномъ сосудѣ? Какъ найти давленіе воздуха въ цилиндрѣ, если мы знаемъ высоту столба воды и величину атмосфернаго давленія?—Пусть высота водяного столба = 27 см., а барометръ показываетъ 750 мм.; выразить давленіе воздуха въ цилиндрѣ въ миллиметрахъ ртутнаго столба, принявъ относ. плотн. ртути за $13^1/_2$. *Отв.* 730 мм.—**4**) Если склянку, изъ которой была удалена часть воздуха, опрокинуть горломъ въ воду и открыть, то отчего въ нее войдетъ приблизительно столько воды, сколько при выкачиваніи вышло воздуха,—какъ именно сказано въ выноскѣ § 63? *Отв.* Вода будетъ входить до тѣхъ поръ, пока атмосферное давленіе не уравновѣсится давленіемъ водяного столба + давленіе воздуха въ склянкѣ. Но давленіе послѣдняго мало отличается отъ атмосфернаго (см. предыдущій вопросъ); значитъ и по плотности этотъ воздухъ почти одинаковъ съ тѣмъ атмосфернымъ, который находился въ склянкѣ до выкачиванія. Итакъ вода должна занять приблиз. мѣсто вышедшаго воздуха.—Насколько надо погрузить склянку въ воду, чтобы давленіе оставшагося въ ней воздуха *сравнялось* съ наружнымъ?—**5**) При перемѣнахъ температуры *плотность* ртути въ барометрѣ измѣняется; не скажется ли это на показаніи барометра? (Термометръ при барометрѣ).—Вмѣстѣ съ тѣмъ измѣняется и *ширина* трубки; будетъ ли *это* измѣненіе вліять на высоту ртути въ барометрѣ?— **6**) Найти, сколькимъ „атмосферамъ“ соотвѣтствуетъ общее давленіе (вмѣстѣ съ атмосфернымъ) на поверхность рыбы, плавающей на глубинѣ 68 саженъ подъ водою, и выразить его числомъ пудовъ на кв. дюймъ. *Отв.* 15 атмосферъ, или около 6 пуд. на кв. дюймъ. (Давленіе пара въ паровыхъ машинахъ рѣдко достигаетъ такой величины).—**7**) Вскипятимъ нѣсколько воды въ жестянкѣ изъ подъ керосина, выгонимъ изъ нея водяными парами воздухъ, потомъ плотно закупоримъ и обольемъ холодной водою. Жестянка будетъ смята. Почему?

V.

Архимедовъ законъ примѣнительно къ жидкостямъ и газамъ.

Кусокъ дерева въ водѣ всплываетъ, а не падаетъ на дно подобно камню или куску желѣза. Воздушный шаръ (аэростатъ) поднимается въ облака, унося съ собою десятки пудовъ груза. Съ перваго взгляда кажется, что подобные при-

мѣры идутъ вразрѣзъ со свойственнымъ всякому тѣлу стремленіемъ падать,—что тѣла иногда какъ бы „стремятся вверхъ“. Разсмотримъ эти явленія ближе.

Давленіе жидкости на погруженное въ нее тѣло.

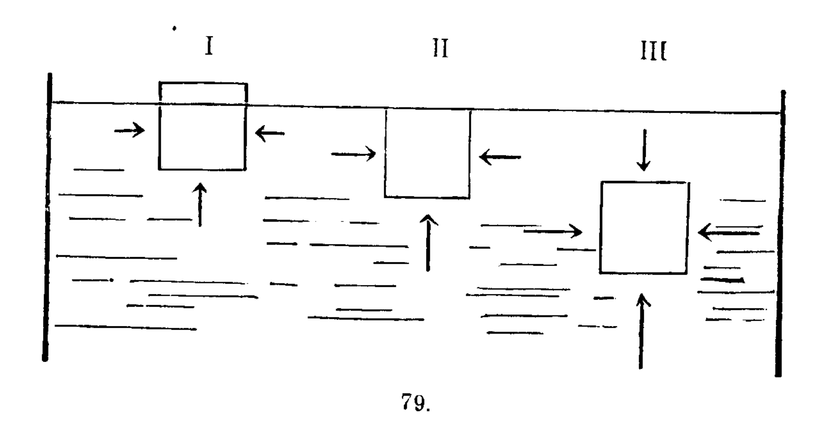
77. Когда мы пробуемъ рукою погрузить плавающее тѣло нѣсколько глубже, мы чувствуемъ противодѣйствіе, тѣмъ болѣе сильное, чѣмъ глубже тѣло нами вдавлено. Удерживая деревянную палку отвѣсно, опустимъ ее въ воду до верху и затѣмъ отнимемъ руку: палка тотчасъ выталкивается, какъ бы подброшенная вверхъ. Противодѣйствіе будетъ очень сильно, если, держа пустое ведро отвѣсно, мы попробуемъ вдавливать его дномъ въ воду; достаточно даже взять столовый стаканъ, чтобы замѣтить это противодѣйствіе. Очевидно жидкость производитъ на погруженное въ нее тѣло снизу вверхъ нѣтоторое давленіе.

Каждое тѣло (не только плавающее) подвергается въ жидкости такому давленію, т. е. болѣе или менѣе поддерживается жидкостью. Каждое тѣло въ жидкости какъ бы становится легче. Если къ спиральной пружинѣ (или просто резинкѣ) подвѣсимъ достаточно тяжелый камень и погрузимъ его въ воду, то вытянувшаяся пружина замѣтно укоротится; она снова вытянется при постепенномъ выниманіи камня изъ воды. Кажущееся уменьшеніе вѣса конечно можно обнаружить и съ помощью вѣсовъ: стóитъ лишь подвѣсить напр. гирьку къ одной чашкѣ вѣсовъ, уравновѣсить и опустить затѣмъ гирьку въ стаканъ съ водою.— Кому случалось поднимать изъ воды, у берега, тяжелый валунъ, тотъ могъ замѣтить, что валунъ въ водѣ кажется значительно легче. Десятифунтовый кирпичъ вѣситъ въ водѣ не болѣе 5 ф. (разница хорошо обнаруживается пружинными вѣсами).

78*. Тѣло поддерживается жидкостью конечно по другой причинѣ, чѣмъ предметъ, лежащій напр. на доскѣ стола, гдѣ самая связь частицъ матерьяла можетъ оказать достаточное противодѣйствіе давленію предмета. Поддерживаніе тѣла жидкостью—слѣдствіе того давленія, которое существуетъ внутри жидкости и о которомъ шла рѣчь выше (§ 49 и слѣд.). Жидкость давитъ на погруженный въ нее предметъ

потому, что каждая частица ея подвержена давленію, происходящему отъ тяжести выше лежащихъ частицъ.

Положимъ для простоты, что тѣло имѣетъ форму куба и лишь частью погружено въ жидкость—такъ, какъ показываетъ рис. 79 I. Давленіе жидкости на его нижнюю грань и есть то, чтó мы здѣсь называемъ поддерживающимъ давленіемъ. То же можно сказать и въ случаѣ, если кубъ погруженъ въ жидкость вровень съ верхнею гранью (II). Когда



79.

же кубъ находится на нѣкоторой глубинѣ подъ поверхностью жидкости (III), то наибольшему давленію подвергается его нижняя грань, какъ находящаяся всего глубже, а верхняя испытываетъ наименьшее давленіе. Такимъ образомъ является избытокъ давленія вверхъ—является опять нѣкоторая сила, стремящаяся поддержать предметъ.

Что касается боковыхъ давленій на тѣло, то ясно, что они въ нашемъ примѣрѣ взаимно уравновѣшиваются (почему?) и ничѣмъ не сказываются на величинѣ поддерживающей силы.

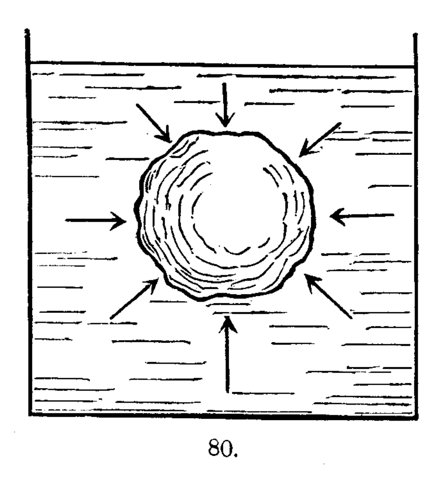
Еслибы тѣло имѣло форму вродѣ изображенной на рис. 80, то давленія на разныя части его поверхности (направленныя къ нимъ перпендикулярно, какъ представлено на рисункѣ стрѣлками) тоже не уравновѣшивались бы взаимно. На нижнія части предмета, какъ погруженныя глубже, давленіе въ общемъ будетъ больше, чѣмъ на верхнія, и также явится нѣкоторый перевѣсъ давленія, направленный вверхъ.

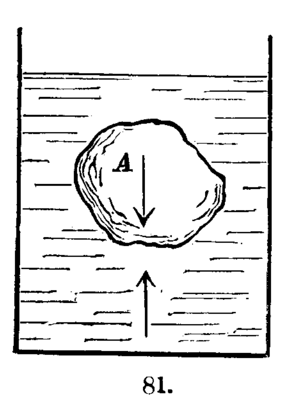
79. Сказанное конечно относится ко всякому погруженному тѣлу—независимо отъ матерьяла, изъ котораго оно

состоитъ. Теперь, принявъ во вниманіе вѣсъ самого тѣла, мы легко придемъ къ слѣдующему выводу:

Если вѣсъ тѣла больше поддерживающаго давленія жидкости, то оно потонетъ, если меньше — всплыветъ. Можно конечно представить себѣ и промежуточный случай, при которомъ вѣсъ тѣла и поддерживающее давленіе жидкости одинаковы: тогда тѣло осталось бы въ равновѣсіи внутри жидкости.

То же самое безъ сомнѣнія можно сказать и о предметѣ, находящемся въ воздухѣ, ибо предметъ подвергается всестороннему давленію воздуха. Отсюда конечно одинъ шагъ до объясненія причины поднятія аэростата. Но относящіяся


80.



81.

сюда явленія удобнѣе разобрать послѣ отдѣльно. Теперь же мы обратимся къ нѣкоторымъ прямымъ слѣдствіямъ, вытекающимъ изъ предыдущаго.

80. Выдѣлимъ мысленно нѣкоторую часть жидкости (A) внутри остальной ея массы (рис. 81). Эта часть жидкости имѣетъ нѣкоторый вѣсъ; спрашивается, почему она не падаетъ? Она не скрѣплена чѣмъ либо съ окружающею жидкостью, такъ какъ частицы жидкости могутъ свободно скользить одна около другой. Слѣдовательно вѣсъ ея какъ бы уничтожается нѣкоторымъ противодѣйствующимъ давленіемъ; онъ именно уравновѣшивается поддерживающимъ давленіемъ жидкости. Теперь положимъ, что эта часть жидкости (A) замѣщена твердымъ тѣломъ точно

такого же вѣса. Ясно, что и замѣстившее ее тѣло останется въ равновѣсіи внутри жидкости. Если же вѣсъ тѣла будетъ больше вѣса замѣщенной имъ жидкости, то оно потонетъ, если меньше—всплыветъ.

Итакъ тѣло тонетъ, всплываетъ или остается внутри жидкости, смотря по тому, каковъ его собственный вѣсъ сравнительно съ вѣсомъ замѣщенной имъ жидкости.

Архимедовъ законъ.

81. Изъ предыдущаго мы видимъ, что тѣло, находящееся въ жидкости, подвержено дѣйствію двухъ силъ прямо противоположнаго направленія. Одна изъ нихъ влечетъ тѣло отвѣсно внизъ: это именно вѣсъ тѣла. Другая, происходящая отъ давленія жидкости на тѣло, стремится его вытолкнуть; эта сила, которую мы называемъ поддерживающимъ давленіемъ жидкости, будетъ больше или меньше, смотря по тому, сколько вѣситъ замѣщенный тѣломъ объемъ жидкости.

Представимъ себѣ кубикъ, котораго ребро равно 1 дюйму, погруженнымъ въ воду настолько, чтобы нижняя его грань находилась на глубинѣ 10 дюйм. подъ поверхностью (верхняя слѣдов. на глубинѣ 9 дюйм.). Опредѣлимъ давленіе воды на нижнюю и верхнюю грани. Первая испытываетъ снизу вверхъ давленіе, соотвѣтствующее 10-дюймовой глубинѣ подъ поверхностью, т. е. равняющееся вѣсу столба воды съ основаніемъ въ 1 кв. д. и высотою 10 д.: такой столбъ воды вѣситъ $^{10}/_{25}$ фун. Верхняя грань испытываетъ сверху внизъ давленіе, равняющееся вѣсу водяного столба съ тѣмъ же основаніемъ, но 9-дюймовой высоты, т. е. давленіе въ $^{9}/_{25}$ фунта. Избытокъ давленія вверхъ составляетъ $^{1}/_{25}$ фунта; какъ видимъ, онъ равняется вѣсу 1 куб. дюйма воды, т. е. вѣсу того объема воды, который замѣщенъ (вытѣсненъ) кубикомъ.

Сдѣлавъ подобный же разсчетъ для тѣла, имѣющаго не кубическую, а иную прямоугольную форму, и погруженнаго на другую глубину, мы конечно прійдемъ къ тому же выводу.

82. Въ случаѣ предмета не прямоугольнаго вычисленіе было бы болѣе затруднительно. Но можно убѣдиться и безъ

вычисленій, что поддерживающее давленіе всегда равно вѣсу вытѣсненной тѣломъ жидкости. Въ самомъ дѣлѣ, погруженное тѣло занимаетъ мѣсто, которое прежде было занято жидкостью. Но такъ какъ послѣдняя находилась въ равновѣсіи среди остальной массы, то она поддерживалась съ силою равною ея вѣсу (на это уже было обращаемо вниманіе выше). Таково же должно быть давленіе и на предметъ, замѣстившій собою жидкость. Слѣдовательно оно равняется вѣсу вытѣсненной тѣломъ жидкости.

Для примѣра положимъ, что объемъ взятаго нами тѣла— любой формы—равняется 25 куб. дюймамъ и что оно погружено въ воду. Вода, замѣщенная тѣломъ, вѣсила 1 фунтъ и съ той же силой поддерживалась окружающей водою. Поэтому и замѣстившее воду тѣло будетъ поддерживаться ею съ силою 1 фунта.

83*. Изъ такихъ соображеній вытекаетъ слѣдующій законъ, названный Архимедовымъ по имени открывшаго его древне-греческаго ученаго:

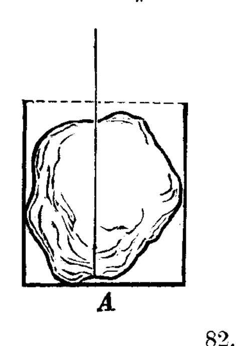
Тѣло, погруженное въ жидкость, испытываетъ съ ея стороны поддерживающее давленіе, которое равно вѣсу вытѣсненной тѣломъ жидкости.

Вотъ одинъ изъ многихъ пріемовъ, которымъ этотъ законъ (съ бо́льшимъ или меньшимъ приближеніемъ) выясняется на опытѣ.

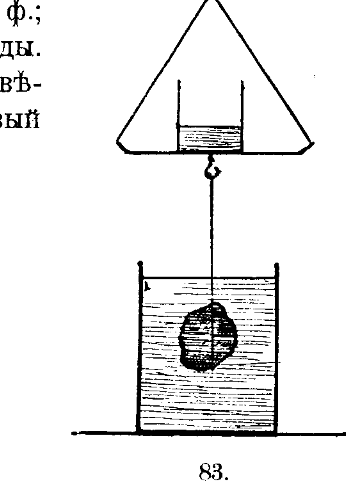
Подбираютъ камень, который приблизительно заполнялъ бы собою внутренность небольшого стекляннаго стакана. Опустивъ камень на ниткѣ въ стаканъ, наливаютъ послѣдній водою до краевъ (*A* рис. 82). Затѣмъ осторожно вынимаютъ камень: вода опустится, и надъ нею освободится въ стаканѣ пространство равное объему камня (*B* рис. 82). Теперь ставятъ стаканъ на чашку вѣсовъ, привѣшиваютъ къ ней же снизу камень и уравновѣшиваютъ все это дробью, помѣщенною на другую чашку. Если погрузить камень въ подставленный подъ него сосудъ съ водою (рис. 83), то чашка съ дробью перетянетъ, и для возстановленія равновѣсія придется долить стаканъ водою до верху, т. е. прибавить вѣсъ воды, взятой въ объемѣ камня.

84. Для болѣе полнаго уясненія условій, при которыхъ тѣло будетъ тонуть или всплывать въ

жидкости, разберемъ слѣдующіе примѣры. Возьмемъ кусокъ желѣза вѣсомъ въ 8 фунт. Такъ какъ желѣзо (примѣрно) въ 8 разъ тяжелѣе воды, то вода въ томъ же объемѣ вѣситъ 1 ф. Если погрузимъ его въ воду, то оно будетъ по закону Архимеда поддерживаться ею съ силою 1 фунта, т. е. будетъ вѣсить въ водѣ 7 фунт.— и потонетъ. Но представимъ себѣ кусокъ дерева, вѣсящій тѣ же 8 ф.; пусть взятое дерево вдвое легче воды. Равный ему объемъ воды будетъ вѣсить 16 ф.; поэтому восьмифунтовый



82.



83.

кусокъ дерева будетъ выталкиваться водой съ силою 16 фунт.: онъ всплыветъ. (Какой грузъ онъ могъ бы еще удержать на себѣ, вполнѣ погрузившись въ воду?). Если бы вѣсъ тѣла и вѣсъ равнаго ему объема жидкости были одинаковы, то тѣло не стало бы ни тонуть, ни всплывать, а держалось бы внутри жидкости. Въ такихъ именно условіяхъ находится любая часть жидкости, мысленно выдѣленная среди остальной ея массы.

Все это можно выразить короче, обозначивъ буквою *A* вѣсъ тѣла, а буквою *B*—вѣсъ равнаго объема жидкости. Если

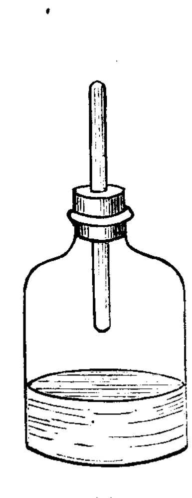
$A > B$, то тѣло тонетъ въ жидкости;
$A < B$, „ „ всплываетъ;
$A = B$, „ „ остается внутри жидкости.

85*. Заставить тѣло потонуть, всплыть или оставаться подъ поверхностью можно нѣсколькими способами.

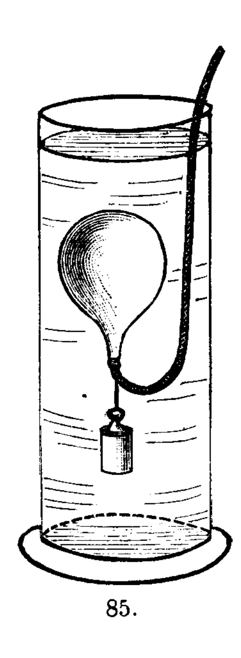
1) Измѣняя вѣсъ тѣла при томъ же самомъ объемѣ.— Закупоренная склянка съ такимъ количествомъ дроби или

воды, чтобы она въ водѣ тонула, будетъ плавать, если въ достаточной мѣрѣ разгрузить ее.

2) Измѣняя объемъ при томъ же вѣсѣ.—Вставимъ въ пробку маленькой склянки кусокъ стеклянной палочки или запаянную съ концовъ стеклянную трубку (рис. 84): вдвигая или выдвигая вставку, можно уменьшать или увеличивать объемъ прибора, не измѣняя его вѣса. Положимъ въ него столько дроби (или вольемъ столько воды), чтобы онъ съ выдвинутою вставкою только что держался у поверхности воды. Если затѣмъ нѣсколько вдвинемъ вставку, то приборъ потонетъ. При нѣкоторомъ терпѣніи, выдвигая надлежащимъ образомъ вставку, можно достичь того, что приборъ будетъ почти неподвижно оставаться внутри жидкости.



84.



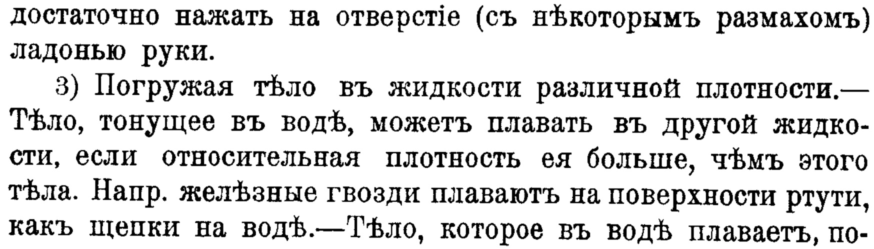
85.

Сходнымъ образомъ рыба, измѣняя свой объемъ, благодаря плавательному пузырю внутри тѣла, можетъ по произволу подниматься, опускаться или держаться неподвижно на различной глубинѣ подъ поверхностью воды.

Грузъ, лежащій на днѣ сосуда съ водою, можно поднять на поверхность, если прикрѣпить къ нему резиновый шаръ (рис. 85) и въ достаточной мѣрѣ увеличить объемъ послѣдняго, вдувая въ него воздухъ. (Почему увеличеніе вѣса вслѣдствіе вхожденія воздуха здѣсь можно не принимать въ разсчетъ?). Такъ удается поднимать изъ воды тяжелыя суда, затонувшія на небольшой глубинѣ, доступной для водолазовъ: прикрѣпивъ къ судну со всѣхъ сторонъ брезентовые мѣшки, раздуваютъ ихъ накачиваніемъ воздуха. Интересно, что здѣсь тяжелый предметъ поднимается изъ воды дѣйствіемъ давленія самой же воды. Это достигается лишь благодаря знанію тѣхъ условій, при которыхъ дѣйствіе проявляется желаемымъ для насъ образомъ.

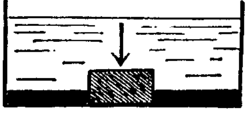
Вотъ еще опытъ. Подберемъ маленькую аптечную склянку такого вѣса и объема, чтобы она въ опрокинутомъ положеніи только что держалась у поверхности въ узкомъ (газопріемномъ) цилиндрѣ, почти до краевъ наполненномъ водою; если нужно, намотаемъ на ея горлышко нѣсколько оборотовъ свинцовой (или отожженой мѣдной) проволоки; въ узкомъ цилиндрѣ склянка не опрокинется, такъ какъ удерживается стѣнками въ наклонномъ положеніи, какъ представлено на рис. 86. Отверстіе цилиндра затянемъ резиновой пластинкой и надавимъ на нее пальцемъ: воздухъ подъ нею сожмется, давленіе передастся черезъ воду тому воздуху, который заключенъ въ склянкѣ, и объемъ его уменьшится; съ тѣмъ вмѣстѣ уменьшится и подъемное дѣйствіе на него со стороны воды: склянка потонетъ. Если прекратимъ надавливаніе, то воздухъ въ склянкѣ расширится, и она всплыветъ. („Декартовъ поплавокъ“). Вблизи хорошо видно, какъ вода входитъ въ склянку и выходитъ изъ нея. Можно обойтись и безъ резиновой пластинки: достаточно нажать на отверстіе (съ нѣкоторымъ размахомъ) ладонью руки.

86.



3) Погружая тѣло въ жидкости различной плотности.—Тѣло, тонущее въ водѣ, можетъ плавать въ другой жидкости, если относительная плотность ея больше, чѣмъ этого тѣла. Напр. желѣзные гвозди плаваютъ на поверхности ртути, какъ щепки на водѣ.—Тѣло, которое въ водѣ плаваетъ, потонетъ въ жидкости, относ. плотность которой меньше, чѣмъ тѣла. Такъ ледъ потонетъ въ спиртѣ или бензинѣ.—Поплавокъ, только что держащійся у поверхности комнатной воды, потонетъ въ горячей.

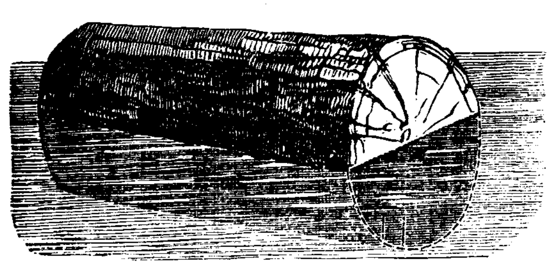
86*. Если устранить давленіе жидкости снизу, то погруженное въ нее тѣло не будетъ всплывать, хотя бы оно было гораздо легче жидкости; оно будетъ, напротивъ, прижато къ дну сосуда. Это видно изъ слѣдующаго опыта. Нальемъ въ стеклянный сосудъ съ плоскимъ гладкимъ дномъ немного ртути и поверхъ нея воды. Если теперь хорошую пробку плотно прижмемъ плоской сто-



87.

роною ко дну сосуда (рис. 87) и отнимемъ руку, то пробка не всплыветъ, хотя она во много разъ легче ртути. (Во сколько именно разъ? См. примѣры относительныхъ плотностей въ § 47, гл. III). Дѣло въ томъ, что ртуть не пристаетъ къ стеклу и пробкѣ (какъ вода), а потому и не проникаетъ въ тѣсное пространство между пробкою и дномъ. Такимъ образомъ давленіе жидкости не передается нижней сторонѣ пробки, между тѣмъ какъ на верхнюю давитъ вся стоящая надъ нею жидкость (вода).

87*. До сихъ поръ мы говорили о всплываніи тѣла, т. е. о его движеніи вверхъ внутри жидкости. Посмотримъ теперь, при какихъ условіяхъ предметъ будетъ спокойно держаться — плавать — на поверхности. Пока все тѣло находится въ жидкости, оно выталкивается съ силою равною вѣсу такого же объема жидкости. Но когда тѣло выставилось надъ поверхностью, оно вытѣсняетъ жидкость только своею погруженною частью; выталкивающая сила становится тѣмъ меньше, чѣмъ меньше объемъ погруженной части. Ясно, что равновѣсіе настанетъ тогда, когда вѣсъ вытѣсняемой тѣломъ жидкости сравняется съ вѣсомъ самого тѣла. Дѣйствительно, тѣло, спокойно плавающее на водѣ (бревно, рис. 88; лодка), всегда болѣе или менѣе погружается въ воду, и вѣсъ воды, вытѣсняемой погруженною частью, равенъ вѣсу тѣла.



88.

Чтобы подтвердить это опытомъ, возьмемъ нашу кружку для вытѣсненія (§ 23 рис. 22). Наливъ въ нее воды и давъ стечь избытку, опустимъ въ кружку какой-нибудь предметъ, который плавалъ бы въ водѣ, частью выставляясь изъ нея (склянку съ надлежащимъ количествомъ дроби или воды). Соберемъ вытѣсненную воду: вѣсъ ея будетъ равенъ вѣсу плавающаго тѣла. (Дабы избѣжать взвѣшиваній, собираютъ воду въ предварительно уравновѣшанный дробью стаканчикъ, который затѣмъ ставятъ на чашку вѣсовъ въ противовѣсъ съ тѣломъ).

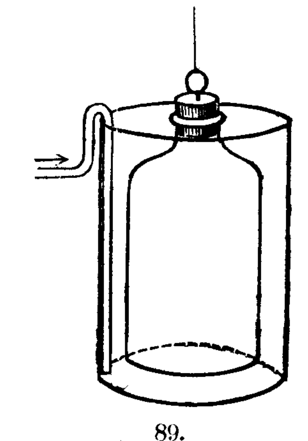
Если бы тѣло вѣсило какъ разъ столько, сколько вѣситъ равный ему объемъ жидкости, то оно спокойно держалось бы подъ ея поверхностью,—случай, о которомъ уже упоминалось выше.

Когда лодка съ сидящими въ ней людьми держится на водѣ, она выдавливаетъ своей погруженною частью столько воды, сколько вѣситъ вмѣстѣ съ сѣдоками.—Если изъ желѣза выковать тонкостѣнную чашку, то, благодаря приданной ей формѣ, она въ состояніи вытѣснить собою гораздо больше воды, чѣмъ сплошной кусокъ желѣза такого же вѣса; поэтому она не только будетъ плавать, но и удержитъ большій или меньшій грузъ. (Плаваніе и подъемная способность желѣзныхъ судовъ).

Распространеніе Архимедова закона на газы.

88*. Предметъ, подверженный всестороннему давленію воздуха или другого газа, тоже будетъ болѣе или менѣе поддерживаться имъ, потому что давленіе на нижнія части предмета больше, чѣмъ на верхнія. Архимедовъ законъ конечно долженъ примѣняться и къ газамъ: всѣ тѣ разсужденія, которыя приводятъ къ этому закону, можно буквально повторить и по отношенію къ газамъ. Тѣло, погруженное въ газъ, испытываетъ поддерживающее давленіе, равное вѣсу вытѣсненнаго имъ газа. Но такъ какъ газъ вообще значительно легче жидкости, то поддерживающее давленіе газовъ гораздо меньше, нежели жидкостей. Однако его легко обнаружить напр. слѣдующимъ образомъ.

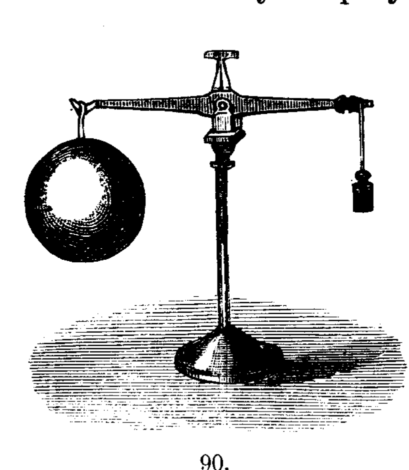
Подвѣсимъ къ чашкѣ вѣсовъ наглухо задѣланную цилиндрическую жестянку или закупоренную фунтовую склянку, опустимъ ее въ достаточно большой стаканъ (банку) и тщательно уравновѣсимъ (рис. 89). Если затѣмъ вытѣснимъ изъ стакана воздухъ углекислымъ газомъ, то другая чашка перетянетъ, потому что поддерживающее давленіе въ углекисломъ газѣ больше, чѣмъ въ воздухѣ (приблиз.



89.

въ $1^1/_2$ раза).—Мыльные пузыри, наполненные воздухомъ, будутъ плавать на невидимой „поверхности" углекислаго газа, какъ пробка на водѣ. (Тѣ же опыты хорошо удаются съ парами обыкновеннаго эфира, которые слишкомъ въ $2^1/_2$ раза тяжелѣе воздуха).

Если на маленькихъ чувствительныхъ вѣсахъ уравновѣсить металлическую гирьку и легкій—полный внутри—шаръ (рис. 90), то равновѣсіе нарушится подъ колпакомъ воздушнаго насоса при разрѣженіи воздуха. (Что именно перевѣситъ? Какъ должно нарушиться равновѣсіе, если тотъ же приборчикъ — называемый бароскопомъ — помѣстить въ сосудъ съ водородомъ? Съ углекислымъ газомъ?).



90.

89*. По Архимедову закону, газъ поддерживаетъ тѣло съ силою, которая равняется вѣсу вытѣсняемаго тѣломъ газа. Поэтому, если аэростатъ съ наполняющимъ его газомъ и всѣми приспособленіями вѣситъ меньше равнаго объема воздуха, то является движущая сила, направленная вверхъ, и шаръ станетъ подниматься въ воздухѣ. Аэростатъ всплываетъ въ воздухѣ точно такъ, какъ кусокъ пробки или воздушный пузырь всплываютъ въ водѣ. (Для наполненія аэростата служитъ свѣтильный газъ, водородъ или нагрѣтый воздухъ).

Углекислый газъ въ воздухѣ можно „переливать" подобно жидкости; напротивъ, болѣе легкій, чѣмъ воздухъ, водородъ быстро уносится вверхъ (см. опыты § 16). Точно также поднимается нагрѣтый воздухъ въ болѣе холодномъ. Такъ называемаго „стремленія вверхъ", приписываемаго въ общежитіи легкимъ газамъ и теплому воздуху, вовсе не существуетъ: они стремятся внизъ, подверженные дѣйствію тяжести, какъ всякія другія тѣла, и лишь выталкиваются вверхъ болѣе тяжелымъ окружающимъ ихъ воздухомъ.

90*. Обратимъ еще вниманіе на интересное слѣдствіе по отношенію къ наблюдаемому нами вѣсу тѣлъ. Мы взвѣшиваемъ тѣла въ воздухѣ. Но воздухъ поддерживаетъ всякое тѣло съ силою, равною вѣсу того объема воздуха, который замѣщенъ тѣломъ. Поэтому тѣло должно казаться въ воздухѣ легче, нежели въ „пустомъ пространствѣ". Если извѣстенъ объемъ тѣла, то „потерю вѣса" въ воздухѣ легко разсчитать. Положимъ, что мы имѣли бы достаточно чувствительные пружинные вѣсы, къ которымъ въ „пустотѣ" подвѣшено тѣло объемомъ въ 1 куб. футъ; въ атмосферномъ воздухѣ такіе вѣсы показали бы убыль вѣса тѣла приблиз. въ $^1/_{12}$ фунта, или около 8 золотниковъ — потому что таковъ вѣсъ 1 куб. фута обыкновеннаго воздуха. Для тѣла объемомъ въ 1 куб. дециметръ, такъ какъ литръ воздуха вѣситъ 1 граммъ съ небольшимъ, кажущаяся потеря вѣса составляла бы немного болѣе 1 грамма. Слѣдовательно взвѣшиваніе въ воздухѣ не даетъ намъ, строго говоря, знанія дѣйствительнаго вѣса тѣла. При точныхъ изслѣдованіяхъ или взвѣшиваютъ тѣла въ „пустотѣ", или же дѣлаютъ надлежащую поправку въ ихъ вѣсѣ посредствомъ вычисленія.

Нѣсколько выводовъ изъ предыдущаго.

91. Оглядываясь назадъ, мы видимъ, что въ дѣлѣ расширенія нашихъ свѣдѣній большую услугу оказали намъ опыты.

Правда, уже внимательное наблюденіе многому научаетъ насъ. Но особенную цѣну пріобрѣтаетъ наблюденіе, когда оно производится въ искусственныхъ—нами создаваемыхъ — условіяхъ. Тогда именно оно называется опытомъ (экспериментомъ). Главное преимущество опыта— въ томъ, что мы можемъ измѣнять его условія по нашему усмотрѣнію. Пробуя, что выйдетъ при устраненіи однихъ и введеніи другихъ, мы узнаёмъ, отъ какихъ именно обстоятельствъ зависитъ данное явленіе, и какова эта зависимость. Опытъ есть какъ бы вопросъ, задаваемый нами природѣ, и на правильно поставленный вопросъ мы всегда можемъ ожидать отъ нея яснаго, опредѣленнаго отвѣта.

92. Одинъ изъ важнѣйшихъ выводовъ, который мы можемъ сдѣлать изъ предыдущаго, тотъ, что паденіе тѣла,

„втягиваніе“ воды насосомъ, всплываніе дерева, поднятіе аэростата—явленія, повидимому не имѣющія между собою ничего общаго—въ дѣйствительности тѣсно связаны между собою: все это различныя **явленія тяжести** тѣлъ. Ближайшее знакомство съ явленіями приводитъ насъ такимъ образомъ къ раскрытію ихъ **взаимной связи**. Это—наиболѣе цѣнный плодъ изученія природы, не только по приносимой имъ прямой пользѣ, но и потому, что онъ удовлетворяетъ человѣка въ его неустанномъ стремленіи распознавать причины явленій.

Возможно полное и точное наблюденіе явленій съ цѣлью раскрытія ихъ взаимной связи — вотъ въ чемъ главная задача изученія природы и вмѣстѣ съ тѣмъ—**главная задача физики**.

Что касается, въ частности, этой книги, то назначеніе ея—познакомить лишь въ самыхъ общихъ чертахъ съ фактами и выводами физики. Для насъ „физика“ есть по преимуществу образовательный, учебный предметъ, который не можетъ обладать полнотою и точностью научной физики.

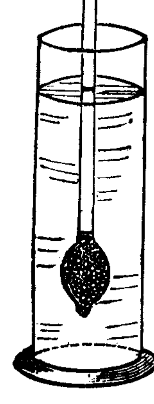
Въ слѣдующей главѣ мы ознакомимся съ **движеніемъ** тѣлъ, подверженныхъ дѣйствію тяжести. Это позволитъ намъ расширить наши свѣдѣнія о томъ дѣятелѣ, который называется тяжестью.

---

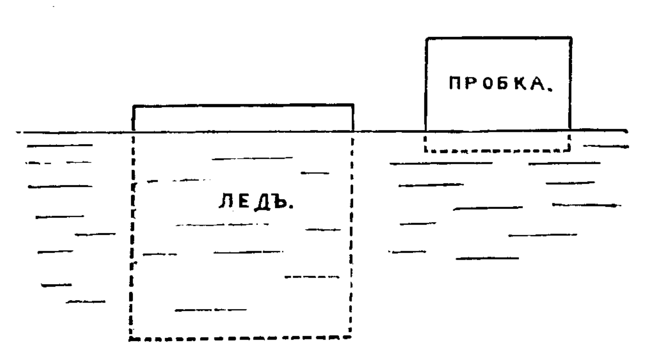
78. Зависитъ ли величина давленія воды на погруженное тѣло (рис. 79) отъ *глубины водоема* или, другими словами, отъ высоты столба жидкости, находящагося *подъ* тѣломъ? Какова роль этой части жидкости въ разсматриваемомъ явленіи? (Передача давленія).—Ящикъ, дно котораго равно 1 кв. футу, а высота больше фута, погружаютъ, держа стѣнки отвѣсно, въ воду настолько, чтобы дно было на глубинѣ 1 фута подъ поверхностью воды. Съ какою силою вода будетъ стремиться вытолкнуть ящикъ?—Съ какою силою будетъ выталкиваться водою ведро (въ 750 куб. дюймовъ), погруженное въ отвѣсномъ положеніи до самыхъ краевъ?—Рѣшить тѣ же вопросы для другой жидкости, напр. керосина съ относ. плотностью 0,8.—Въ § 78 сказано, что *боковыя* давленія жидкости на кубъ „взаимно уравновѣшиваются“. Что именно означаетъ послѣднее выраженіе? (См. § 35, понятіе о равновѣсіи). Давленіе на нѣкоторую точку съ одной стороны уравновѣшивается ли давленіемъ на *всякую* точку съ другой? Въ окончательномъ выводѣ, почему всѣ боковыя давленія уравновѣшиваются?—**83.** Сколько будетъ вѣсить въ водѣ гранитный валунъ

объемомъ: *a*) въ 1 куб. футъ *b*) въ 1 куб. дециметръ? Отн. плотн. гранита $2^1/_2$. *Отв.* а) $69^1/_8$. $2^1/_2$—$69^1/_8 = 69^1/_8$. $^3/_2$ ф., или около $2^3/_5$ пуд.; короче и точнѣе: 1,728. $\frac{3}{2}$=2,592 п. *b*) 2,5—1=1,5 кг.—Сколько будетъ вѣсить въ водѣ куб. дюймъ, куб. сантиметръ чугуна, относ. плотн. котораго 7? *Отв.* „Потеря вѣса“ въ первомъ случаѣ $^1/_{25}$ ф., во второмъ 1 гр.—Сколько вѣситъ погруженный въ ртуть куб. дюймъ платины? Относ. плотность платины 21. *Отв.* Потеря вѣса въ ртути = вѣсу 1 куб. дюйм. ртути = $\frac{13^1/_2}{25}$ фунт.; слѣд. платина въ ртути будетъ вѣсить $\frac{21}{25} - \frac{13^1/_2}{25} = {^3/_{10}}$ фунта.—Помощью кружки, изображенной на рис. 22 (§ 23) можно собрать и взвѣсить жидкость, вытѣсняемую погруженнымъ въ нее тѣломъ. Какимъ образомъ, пользуясь этимъ пріемомъ, показать, что кажущаяся потеря вѣса тѣла въ жидкости слѣдуетъ Архимедову закону?—**85—87.** 1) Какова должна быть *относительная плотность* матерьяла, изъ котораго состоитъ сплошное тѣло, чтобы оно въ *водѣ* тонуло, всплывало или держалось подъ ея поверхностью? (См. § 45).—**2**) Какъ отличить вещь изъ настоящаго чернаго дерева отъ поддѣльной, имѣя въ виду, что относ. плотность перваго 1,2, а обыкновенныхъ сортовъ дерева—меньше 1-цы?—**3**) Свѣжее куриное яйцо, тонущее въ водѣ, плаваетъ въ достаточно крѣпкомъ соляномъ растворѣ. Почему? (См. табл. отн. плотностей въ вопросахъ къ гл. III, стр. 52).—**4**) Если описанный въ § 85, рис. 84, поплавокъ только что держится у поверхности комнатной воды, то при вливаніи въ нее горячей онъ потонетъ. Почему?—**5**) Тазъ вѣситъ 5 фунт. и имѣетъ такіе размѣры, что, будучи погруженъ въ воду *до самыхъ краевъ*, вытѣсняетъ 20 ф. воды. Сколько фунтовъ надо положить въ тазъ, чтобы онъ до краевъ погрузился въ воду?—Каковъ будетъ грузъ въ случаѣ, если тазъ вѣситъ *a* килогр. и вытѣсняетъ собою *b* литровъ воды? *Отв.* *b*—*a* килограммовъ.—**6**) Желѣзный прямоугольный ящикъ, вѣсящій 12 фунт., имѣетъ слѣдующіе наружные размѣры: 15 дюйм. длины, 12 д. ширины и 10 д. высоты. Какой грузъ надо положить въ ящикъ, чтобы онъ погрузился въ воду до краевъ? *Отв.* $1^1/_2$ пуда.—**7**) Какія двѣ силы взаимно уравновѣшиваются, когда тѣло спокойно держится (плаваетъ) на поверхности жидкости?—**8**) Если человѣкъ, вѣсомъ въ 4 пуда, войдетъ въ лодку, то насколько увеличится вѣсъ вытѣсняемой лодкою воды?—**9**) Сколько человѣкъ, считая вѣсъ каждаго въ среднемъ за 4 пуда, помѣстившись на баркѣ длиною 150 фут. и шириною 40 ф., заставятъ ее погрузиться глубже на $^1/_2$ фута? *Отв.* Если принять горизонтальное сѣченіе барки за прямоуголникъ, то вѣсъ вытѣсненной воды, соотвѣтствующій погруженію на 6 дюймовъ, будетъ $\frac{150.40.144.6}{1000}$ = 5184 пуд. = нагрузкѣ; это вѣсъ почти 1300 человѣкъ.—**10**) На барку примѣрно такихъ же размѣровъ, именно 45 метр. длины и 12 м. ширины, поставили паровозъ вѣсомъ въ 54 тонны. На сколько глубже прежняго барка погрузится въ воду? *Отв.* Пря-

моугольная масса вытѣсненной при погруженіи воды должна вѣсить 54 тонны, т. е. имѣть объемъ въ 54 куб. метра; а т. к. ея длина 45, ширина 12 м., то высота должна быть 0,1 м.; слѣд. барка погрузится глубже на 1 дециметръ.—**11**) На вѣсахъ уравновѣшены два сплошныхъ тѣла одинаковаго вѣса: стеклянное и желѣзное; нарушится ли равновѣсіе, если опустить эти тѣла въ воду? Которое перетянетъ?—**12**) На вѣсахъ уравновѣшены двѣ одинаковыхъ по вѣсу и матерьялу гири. Останутся ли вѣсы въ равновѣсіи, если одну изъ гирь опустить въ воду, а другую въ винный спиртъ?—**13**) На чашку вѣсовъ помѣщенъ стаканъ съ водою и рядомъ съ нимъ камень; все это уравновѣшено грузомъ, положеннымъ на другую чашку. Если теперь камень положить въ стаканъ съ водою, то онъ будетъ поддерживаться ею съ силой, которая равна вѣсу замѣщенной имъ воды. Нарушится ли послѣ того равновѣсіе?—**14**) Сосудъ съ водою уравновѣшенъ на вѣсахъ. Почему равновѣсіе нарушается, если погрузить въ воду палецъ или камень, подвѣшенный на нити? Сколько надо положить на другую чашку для возстановленія равновѣсія?—**15**) Вѣсъ воды, вытѣсняемый судномъ, называется его „водоизмѣщеніемъ". Сколько пудовъ вѣситъ судно, водоизмѣщеніе котораго 3000 тоннъ? 20000 тоннъ (водоизмѣщеніе большихъ океанскихъ судовъ)?—**16**) Когда судно выйдетъ изъ рѣки въ океанъ, будетъ ли оно погружаться въ воду до прежней глубины? (См. таблицу плотностей въ вопросахъ гл. III, стр. 52).—**17**) Тѣло, подвѣшенное на нити къ чашкѣ вѣсовъ, погружаютъ въ кружку для вытѣсненія (§ 23 рис. 22), вслѣдствіе чего изъ кружки вытекаетъ въ мензурку 10 куб. см. воды. Насколько вѣсъ этого тѣла въ водѣ оказался бы меньше, чѣмъ внѣ ея?—**18**) Тѣло человѣка обыкновенно немного тяжелѣе равнаго объема воды. Чего достигаемъ мы, набирая въ себя при плаваніи воздухъ? Почему спокойно держаться у поверхности воды легче именно на спинѣ? (Принять во вниманіе, что тогда *все* наше тѣло, кромѣ части лица, можетъ находиться въ водѣ).—Помимо навыка въ плавательныхъ движеніяхъ, не зависитъ ли возможность держаться въ водѣ еще отъ соотношенія между вѣсомъ и объемомъ нашего тѣла?—Какова роль спасательныхъ поплавковъ (круговъ, пузырей и проч.)?—Можетъ ли такой поплавокъ удержать любое число ухватившихся за него людей?—**19**) Кусокъ желѣза „теряетъ" въ водѣ 1 ф. вѣса; найти объемъ этого куска въ куб. дюймахъ. *Отв.* 25.—Какъ великъ объемъ тѣла, теряющаго 1 ф. вѣса въ винномъ спиртѣ относ. плотн. 0,8? *Отв.* $25 \cdot \frac{5}{4} = 31^1/_4$ куб. д.—Рѣшить тѣ же вопросы въ случаѣ потери въ 1 килограммъ.—**20**) Сплошное тѣло, вѣсящее 45 гр., вѣситъ въ водѣ 40 гр.; какова относ. плотность его матерьяла? *Отв.* 9.—*То же* тѣло вѣситъ въ сѣрной кислотѣ 36 гр.; найти относ. плотн. сѣрной кислоты. *Отв.* $\frac{45-36}{45-40} = 1{,}8$.—**21**) Кирпичъ вѣсомъ $10^1/_2$ ф. вѣсилъ въ водѣ $5^1/_4$ ф. Какова относ. плотн. матерьяла кирпича?—**22**) Найти относ. плотн. серебра, если кусокъ его, вѣсящій 63 гр., въ водѣ вѣситъ 57 гр. *Отв.* $10^1/_2$.—**23**) Какимъ образомъ можно судить объ относ. плотности твердаго тѣла безъ всякаго взвѣшиванія, если имѣется цѣлый рядъ жидкостей постепенно увеличивающейся относ. плотности, заранѣе опредѣленной? (Способъ нахожденія относ. плотности очень маленькихъ тѣлъ, напр. мелкихъ кристалловъ).—**24**) Поплавокъ, состоящій изъ стеклянной трубки съ шарикомъ, въ которомъ находится достаточное количество дроби или ртути, можетъ держаться въ водѣ отвѣсно (см. рис. 91). Чѣмъ опредѣляется глубина, до которой погрузится трубка въ водѣ? (См. § 87). Если въ водѣ она опускается *до средины*, то что будетъ при погруженіи въ жидкость, которой отн. плотн. больше 1 или меньше 1? Какъ воспользоваться этимъ приспособленіемъ для опредѣленія относит. плотности жидкостей? („Ареометръ"). —**25**) Какая часть *прямоугольной* ледяной глыбы, плавающей въ прѣсной водѣ, выставляется надъ водной поверхностью? *Отв.* Плавающая глыба вытѣсняетъ *погруженною* частью столько воды, сколько сама вѣситъ; но вѣсъ льда составляетъ $^9/_{10}$ вѣса *равнаго* объема воды; слѣдов., чтобы вытѣсненная вода вѣсила столько же, сколько вся глыба, объемъ этой воды долженъ составлять $^9/_{10}$ объема глыбы. Итакъ лишь $^1/_{10}$ ея будетъ выставляться надъ поверхностью. (Громадность полярныхъ ледяныхъ массъ, которыя, плавая, возвышаются иногда на десятки саженъ надъ поверхностью воды).—**88**. Пусть жестяной цилиндръ объемомъ въ 500 куб. см. ($^1/_2$ литра) оказывается въ углекисломъ газѣ на 0,3 грамма легче, чѣмъ въ воздухѣ. Какъ найти отсюда, основываясь на Архимедовомъ законѣ, во сколько разъ углекислый газъ тяжелѣе равнаго объема воздуха, если вѣсъ 1 литра комнатнаго воздуха = 1,2 гр? *Отв.* Потеря 0,3 гр. показываетъ, *насколько* вѣсъ полулитра углекислаго газа больше, чѣмъ такого же объема воздуха;



91.



92. Рис. показываетъ, насколько погружаются плавающіе въ водѣ ледъ и пробка (относ. пл. $^9/_{10}$ и $^1/_5$).

но $^1/_2$ литра воздуха вѣситъ $^1/_2 . 1{,}2 = 0{,}6$ гр.; слѣдов. равный объемъ углекислаго газа будетъ вѣсить $0{,}6 + 0{,}3 = 0{,}9$ гр.: это число въ $1^1/_2$ раза больше вѣса воздуха въ равномъ объемѣ.— **88—90. 1**) Какъ надо держать сосуды съ водородомъ и воздухомъ, чтобы „перелить" водородъ изъ одного въ другой въ воздухѣ? Если бы мы захотѣли перелить прованское масло изъ одной банки въ другую, держа ихъ не въ воздухѣ, какъ обыкновенно, а *подъ водою* (которая тяжелѣе прованскаго масла), то какъ пришлось бы держать банки?—**2**) Почему для обнаруженія величины кажущейся потери вѣса тѣла въ воздухѣ въ примѣрѣ § 90 указано на *пружиные* вѣсы? Въ случаѣ вѣсовъ съ гирями что сказать о вѣсѣ самихъ гирь?—Въ какомъ (исключительномъ) случаѣ потеря вѣса тѣла и гирь была бы одинакова?—**3**) Что въ дѣйствительности тяжелѣе: фунтъ пробки или фунтъ свинца, если оба тѣла вѣсятъ по 1 фунту при обычныхъ условіяхъ взвѣшиванія, т. е. въ воздухѣ? (См. между прочимъ оп. съ бароскопомъ, § 88).—**4**) Часто говорятъ, что водородъ, какъ очень легкій газъ, „стремится" вверхъ. Но водородъ самъ по себѣ, какъ всякое иное тѣло на землѣ, подверженъ дѣйствію тяжести и стремится *внизъ*. Какъ слѣдовало бы выражаться въ подобныхъ случаяхъ?—Почему нагрѣтый воздухъ поднимается въ болѣе холодномъ?—**5**) Къ дѣтскому воздушному шару можно привязать на ниткѣ такой кусокъ папки, что шаръ нѣкоторое время не будетъ ни подниматься, ни опускаться. Какъ относится тогда вѣсъ шара съ привязаннымъ къ нему предметомъ къ вѣсу вытѣсняемаго ими воздуха?—**6**) Что могло бы случиться съ аэростатомъ въ верхнихъ слояхъ атмосферы, если бы шаръ былъ наглухо закрытъ? (Принять во вниманіе малую растяжимость оболочки).

Смѣшанные вопросы.—Вполнѣ ли одинаково поддерживающее давленіе жидкости на различной глубинѣ подъ поверхностью? (Принять во вниманіе нѣкоторую, хотя и незначительную, сжимаемость твердыхъ и жидкихъ тѣлъ съ возрастаніемъ давленія). При какомъ условіи поддерживающее давленіе совершенно не зависѣло бы отъ глубины, на которую тѣло погружено? (При несжимаемости жидкости и погруженнаго тѣла или при одинаковой ихъ сжимаемости).—Какъ измѣняется сила, выталкивающая изъ воды *воздушный пузырь*, по мѣрѣ его поднятія съ нѣкоторой глубины?—Въ числѣ догадокъ о *причинѣ паденія* тѣлъ на землю, т. е. тяжести тѣлъ, допустимо ли слѣдующее предположеніе: тѣла падаютъ потому, что на нихъ давитъ воздухъ?

VI.

О движеніи вообще и о движеніи тѣлъ подъ дѣйствіемъ тяжести. Вѣсъ и масса.

Какъ тѣла падаютъ?

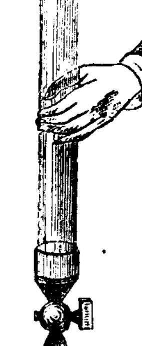
93*. Всякое тѣло близъ земной поверхности, ничѣмъ не поддерживаемое, падаетъ. Это одно изъ постоянно повторяющихся явленій, и однако наше обычное сужденіе о немъ совершенно не соотвѣтствуетъ истинѣ.

Видя, съ какой различной быстротою падаютъ тяжелыя и очень легкія тѣла, мы привыкаемъ къ мысли, что тѣло вообще должно падать тѣмъ быстрѣе, чѣмъ больше его вѣсъ. Намъ обыкновенно кажется, что большой тяжелый камень упадетъ на землю быстрѣе, чѣмъ маленькій, если оба будутъ отпущены одновременно съ той же самой высоты. Но стóитъ лишь внимательно присмотрѣться къ явленію, и мы убѣдимся въ невѣрности нашего привычнаго взгляда. Мы навѣрное не замѣтили бы разницы даже въ случаѣ паденія фунтоваго камня и каменной глыбы вѣсомъ въ десятки пудовъ.

Что же касается очень легкихъ предметовъ, каковы пробка, птичье перо, пухъ, то они несомнѣнно падаютъ съ весьма различною скоростью, которая во всякомъ случаѣ замѣтно меньше скорости паденія тяжелыхъ тѣлъ. Самая простая проба покажетъ намъ, что мѣдный пятакъ падаетъ быстрѣе клочка бумаги. Но вспомнимъ, что всѣ земные предметы падаютъ въ воздухѣ, и что воздухъ, подобно водѣ (хотя и въ гораздо слабѣйшей степени), оказываетъ сопротивленіе движущимся въ немъ тѣламъ—тѣмъ большее, чѣмъ больше поверхность тѣла, обращенная впередъ, въ сторону движенія. Если сильно взмахнемъ большимъ кускомъ картона, двигая имъ плашмя, то почувствуемъ очень замѣтное сопротивленіе воздуха; при достаточно быстромъ взмахѣ картонъ погнется. Сопротивленіе сдѣлается неощутитель-

нымъ, если взмахнемъ тѣмъ же кускомъ, двигая картонъ ребромъ. Одно и то же тѣло будетъ падать въ воздухѣ съ различной быстротою, смотря по тому, какое сопротивленіе оно встрѣчаетъ. Попробуемъ одновременно выпустить изъ рукъ (съ одной и той же высоты) два одинаковыхъ картонныхъ кружка, пустивъ одинъ плашмя, другой ребромъ,—и мы увидимъ, что второй, встрѣчающій меньшее сопротивленія, упадетъ быстрѣе перваго. Сдѣлавъ то же съ двумя одинаковыми кусками бумаги, развернутымъ и скомканнымъ, увидимъ, что скомканный достигнетъ пола быстрѣе.

94*. Итакъ сравнительно медленное паденіе очень легкихъ предметовъ зависитъ вѣроятно отъ присутствія воздуха: сопротивленіе его конечно будетъ служить тѣмъ болѣе замѣтною помѣхою движенія, чѣмъ меньше вѣсъ тѣла и чѣмъ больше его поверхность. Попробуемъ провѣрить это заключеніе, измѣнивъ условія, при которыхъ тѣло падаетъ,—освободивъ болѣе легкое тѣло отъ сопротивленія воздуха.



93.

Возьмемъ два кружка одинаковой величины: одинъ металлическій, напр. желѣзный или мѣдный (мѣдный пятакъ), другой — бумажный. Держа первый плашмя (горизонтально), положимъ на него бумажный кружокъ и предоставимъ имъ падать. Теперь сопротивленіе воздуха движенію бумажнаго кружка будетъ устранено—и мы увидимъ, что оба тѣла достигнутъ пола одновременно.

Опытъ болѣе убѣдительный состоялъ бы конечно въ томъ, чтобы устранить самый воздухъ, т. е. наблюдать, если возможно, паденіе тѣлъ въ „безводушномъ“ пространствѣ.

Помощью воздушнаго насоса, какъ мы уже знаемъ, можно удалить изъ сосуда почти весь воздухъ. Если въ такой сосудъ—достаточно длинную трубку (рис. 93)—предварительно помѣстить кусочекъ свинца и перышко, то оказывается, что оба тѣла, почти не встрѣчая сопротивленія при движеніи, будутъ падать въ трубкѣ безъ замѣтнаго различія въ быстротѣ.

Правда, описанные здѣсь опыты не даютъ намъ еще основанія утверждать, чтобы въ быстротѣ паденія разныхъ тѣлъ не было никакой разницы: быть можетъ она настолько мала, что остается незамѣченною и обнаружилась бы напр. при паденіи тѣлъ съ бóльшей высоты. Но во всякомъ случаѣ мы видимъ, что свободное (безпрепятственное) паденіе тѣлъ происходитъ совсѣмъ иначе, нежели въ воздухѣ. А болѣе точные опыты не оставляютъ никакого сомнѣнія въ томъ, что въ „пустотѣ“ всѣ тѣла падали бы одинаково скоро.

Нѣсколько замѣчаній о движеніи вообще.

95*. Мы знаемъ и можемъ представить себѣ много различныхъ движеній. Если тѣло въ равные—произвольно выбранные — промежутки времени проходитъ пути одинаковой длины, то говорятъ, что оно движется съ неизмѣнною скоростью, а самое движеніе называютъ равномѣрнымъ; въ противномъ случаѣ движеніе тѣла неравномѣрное. Кромѣ того, смотря по виду пути, проходимаго тѣломъ, мы отличаемъ движеніе прямолинейное отъ криволинейнаго.

Равномѣрное прямолинейное движеніе было бы движеніе съ постоянною скоростью въ одномъ и томъ же направленіи. Среди окружающихъ насъ предметовъ не трудно указать примѣры движеній, болѣе или менѣе къ нему приближающихся, а также движеній явно неравномѣрныхъ или криволинейныхъ.

96. Всякое тѣло можетъ двигаться и передавать движеніе другимъ тѣламъ. Это настолько общеизвѣстно, что, казалось бы, и добавлять сюда нечего. Однако наши обычныя понятія о движеніи и его причинахъ сплошь и рядомъ очень сбивчивы и ошибочны. Уже самое рѣшеніе вопроса о томъ, считать ли предметъ движущимся или нѣтъ, приводитъ къ затрудненіямъ, примѣры которыхъ были приведены въ началѣ I главы. Затѣмъ мы только что видѣли, какъ ошибоченъ нашъ обычный взглядъ на движеніе падающихъ тѣлъ. Можно было бы привести и другіе примѣры.

Всѣ движенія на земной поверхности очень усложняются различными препятствіями или „сопротивленіями“, которыя тѣло неизбѣжно встрѣчаетъ на своемъ пути. Треніе тѣла о поверхность, по которой оно движется, сопротивленіе воды движенію лодки или парохода—примѣры общеизвѣстные. Воздухъ также оказываетъ сопротивленіе движущимся въ немъ предметамъ. Вообще мало замѣтное, сопротивленіе воздуха при быстрыхъ движеніяхъ (скораго поѣзда желѣзной дороги, артиллерійскаго снаряда) можетъ сдѣлаться весьма большимъ. Очень мелкіе предметы — пылинки, твердыя и жидкія частички, составляющія дымъ, мельчайшія водяныя частички тумана—падаютъ въ воздухѣ чрезвычайно медленно и долго держатся въ атмосферѣ именно вслѣдствіе сопротивленія воздуха.

Неизбѣжныя сопротивленія, а также постоянное участіе причины, влекущей тѣла къ землѣ, т. е. тяжести, во всѣхъ движеніяхъ близъ земной поверхности, часто очень затрудняютъ изученіе происходящихъ вокругъ насъ движеній. Къ правильнымъ выводамъ удается подойти не иначе, какъ внимательно наблюдая окружающее и вдумываясь въ тѣ постоянно повторяющіяся явленія движенія тѣлъ, которыя, сдѣлавшись привычными, почти что перестаютъ обращать на себя наше вниманіе.

Законъ инерціи.

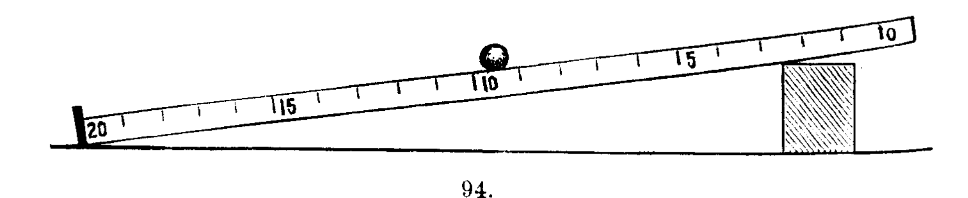
97*. Всѣ мы увѣрены, что тѣла сами собою не начинаютъ двигаться и, видя, что какое-либо тѣло приходитъ въ движеніе, ищемъ движущую причину внѣ тѣла: мы обыкновенно находимъ ее въ дѣйствіи другого тѣла, которое тянетъ или толкаетъ первое. Стремленіе всѣхъ тѣлъ падать мы объясняемъ себѣ тѣмъ, что они „притягиваются“ землею, т. е. приписываемъ движеніе падающихъ тѣлъ тоже нѣкоторой внѣшней причинѣ—дѣйствію земли. Но можетъ ли тѣло, приведенное въ движеніе, само собою остановиться или какимъ либо образомъ измѣнить то движеніе, которое было ему сообщено? Положимъ, что тѣло получило толчекъ, заставившій его двигаться по горизонтальной плоскости. Въ такомъ случаѣ оно, какъ извѣстно, сохраняетъ сообщенное ему движеніе лишь нѣкоторое время: оно движется съ постепенно уменьшающеюся скоростью и наконецъ останавливается. Всякій знаетъ, что отъ одинаковаго толчка тѣло пройдетъ тѣмъ большій путь, чѣмъ меньше препятствій оно встрѣчаетъ на своемъ пути, напр. чѣмъ глаже плоскость, по которой оно катится. Однако, какъ бы гладка ни была плоскость, оно все-таки остановится. Отсюда какъ бы выходитъ, что тѣло, получившее толчекъ извнѣ, „стремится къ покою“; такъ нѣкогда и полагали. Но внимательное наблюденіе и размышленіе учитъ насъ иному. Въ самомъ дѣлѣ, движеніе предмета встрѣчаетъ сопротивленія (треніе о плоскость, сопротивленіе воздуха), которыя никогда не могутъ быть вполнѣ устранены. Всякій разъ, когда сопротивленія уменьшаются, движеніе длится дольше, и не видно причины, почему бы оно могло прекратиться само собою: единственную и достаточную причину этого мы всегда находимъ въ неизбѣжныхъ сопротивленіяхъ. То же самое можно сказать при внимательномъ наблюденіи и о направленіи движенія: тѣло само собою никогда не измѣняетъ сообщеннаго ему направленія. Такимъ образомъ, если бы тѣло, получивъ толчекъ, было затѣмъ предоставлено только самому себѣ, то оно продолжало бы двигаться, не измѣняя ни скорости, ни направленія, которыя были ему сообщены, т. е. продолжало бы двигаться равномѣрно и прямолинейно, пока на него не подѣйствовали бы какія-либо внѣшнія причины. Хотя мы и не можемъ провѣрить этого положенія прямыми наблюденіями, тѣмъ не менѣе нельзя сомнѣваться въ его правильности, потому что оно подтверждается всѣми выводимыми изъ него слѣдствіями. Тѣло само по себѣ не стремится ни къ покою, ни къ движенію: ему лишь свойственно сохранять то состояніе (покоя или равномѣрнаго прямолинейнаго движенія), въ которомъ оно находится. Подъ именемъ закона или начала инерціи это положеніе составляетъ одно изъ основаній механики—науки о движеніи и его причинахъ.

Обратимся теперь снова къ движенію падающихъ тѣлъ.

Движеніе свободно падающаго тѣла.

98*. Какъ движется падающее тѣло — равномѣрно или нѣтъ? Чтобы отвѣтить на этотъ вопросъ, мы должны конечно

обратить наше вниманiе на тѣло достаточно грузное, паденiе котораго почти не задерживалось бы сопротивленiемъ воздуха. Но каждый знаетъ, что камень ударяется о землю тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше высота, съ которой онъ упалъ. Отсюда прямо слѣдуетъ, что онъ движется тѣмъ быстрѣе, чѣмъ продолжительнѣе самое время движенiя. Движенiе падающаго камня не равномѣрное, а несомнѣнно ускоряющееся. Таково же движенiе всякаго тѣла, падающаго въ пространствѣ, изъ котораго удаленъ воздухъ. Затѣмъ въ движенiи падающихъ тѣлъ можно открыть нѣкоторую замѣчательную правильность. Но камень и тому подобные тяжелые предметы падаютъ настолько быстро, что непосредственно услѣдить за ихъ движенiемъ довольно трудно. По-



94.

этому, чтобы ближе ознакомиться съ ихъ движенiемъ при паденiи, приходится прибѣгать къ разнымъ окольнымъ путямъ. Проще всего слѣдующiй прiемъ.

Наблюдая за тѣмъ, какъ скатывается шарикъ по наклонно поставленной гладкой доскѣ, легко замѣтить, что его движенiе, сперва медленное, дѣлается все быстрѣе и быстрѣе. Если пустимъ тяжелый шарикъ по желобу достаточно длиннаго деревяннаго бруска съ помѣченными на немъ равными дѣленiями (рис. 94) и будемъ отсчитывать время по маятнику часовъ (или по метроному), то убѣдимся, что шарикъ въ каждый послѣдующiй промежутокъ времени проходитъ большiй путь, нежели въ точно такой же предшествовавшiй. Движенiе шарика, катящагося по наклонной плоскости, ускоряющееся. Взявъ шарики изъ различнаго матерьяла (но достаточно тяжелые: мѣдный, стеклянный и т. п.), мы не замѣтили бы разницы въ скорости движенiя.

Съ увеличенiемъ наклона плоскости шарикъ движется быстрѣе: увеличивается какъ путь, проходимый имъ въ первую единицу времени, такъ и пути, пробѣгаемые имъ во 2-ю и слѣдующiя единицы времени. Представимъ себѣ теперь, что, увеличивая постепенно наклонъ къ горизонту, мы наконецъ поставили плоскость въ ея предѣльное положенiе, т. е. отвѣсно. Движенiе шарика конечно сохранитъ свою особенность—останется ускоряющимся. Но въ дѣйствительности шарикъ теперь уже двигается такъ, какъ будто бы плоскости не было. Слѣдовательно мы переходимъ къ свободному паденiю и видимъ, что заключенiе объ ускоряющемся движенiи падающаго тѣла подтверждается этимъ обходнымъ путемъ.

99*. Съ нашею наклонною плоскостью мы можемъ однако пойти и дальше. Если бы мы стали измѣрять, какой путь пробѣгаетъ скатывающiйся по ней шарикъ въ первую секунду движенiя, затѣмъ во вторую, третью и т. д., то нашли бы, что

путь второй секунды	втрое	болѣе, нежели	первой
„ третьей „	въ пять разъ	„ „	„
„ четвертой „	въ семь „	„ „	„

И т. д. Другими словами, если бы въ теченiе 1-й секунды шарикъ пробѣжалъ нѣкоторый путь A или $1.A$ (дюймовъ, сантиметровъ, . . .), то во вторую секунду онъ пробѣжалъ бы $3.A$, въ третью $5.A$, въ четвертую $7.A$ и т. д. Итакъ пути, проходимые шарикомъ въ послѣдовательныя секунды (вообще въ послѣдовательные равные промежутки времени), относятся другъ къ другу, какъ числа нечетнаго ряда: 1, 3, 5, 7... Такую правильность мы нашли бы при любомъ наклонѣ плоскости; слѣдовательно, судя по предыдущему, мы можемъ ожидать ея и для случая свободнаго паденiя.

100*. Остается лишь найти длину пути, пробѣгаемаго свободно падающимъ тѣломъ въ первую секунду паденiя. Приблизительно это сдѣлать не трудно. Если дадимъ камню падать съ высоты около 16 фут. или 5 метр. (можно воспользоваться внутренней домовой или приставленной къ стѣнѣ лѣстницей), то увидимъ, что этотъ путь онъ пробѣжитъ въ 1 секунду.

Примѣняя къ падающему тѣлу только что указанную правильность, мы найдемъ пути, проходимые имъ въ послѣдовательныя секунды, умножая 16 фуг. или 5 метр. на 3, 5, 7... Выпишемъ это для большей ясности такъ:

Путь 1-й секунды паденія = 16 × 1 фут. или 5 × 1 метр.
„ 2-й „ „ 16 × 3 „ „ 5 × 3 „
„ 3-й „ „ 16 × 5 „ „ 5 × 5 „
„ 4-й „ „ 16 × 7 „ „ 5 × 7 „

и т. д. Болѣе точными опытами путь первой секунды для всякаго свободно падающаго тѣла найденъ = 16,1 фут. или 4,9 метр.

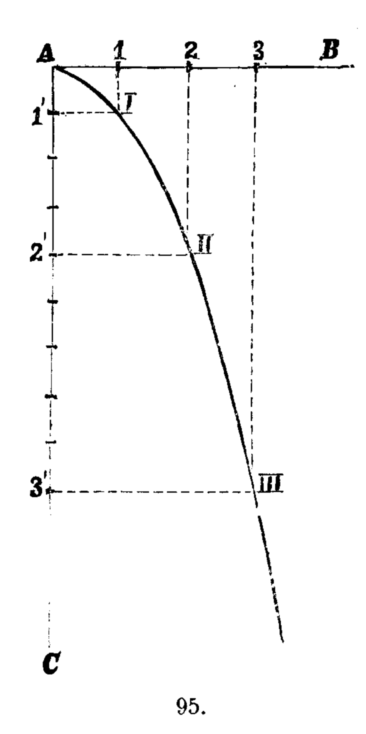
Все это конечно относится до паденія тѣлъ безъ всякихъ сопротивленій на пути. Но та же самая правильность, съ бо́льшимъ или меньшимъ приближеніемъ, наблюдается и для тѣла, падающаго въ воздухѣ, когда оно достаточно грузно и движется не слишкомъ быстро (падаетъ съ высоты не очень большой),—когда слѣдовательно встрѣчаемое имъ сопротивленіе воздуха сравнительно ничтожно. Отсюда, замѣтивъ число секундъ паденія, можно примѣрно опредѣлить высоту, съ которой тѣло упало. Такъ, если камень, опущенный съ высоты обрыва, падалъ 4 секунды, то высота обрыва = 16.1 + 16.3 + 16.5 + 16.7 = 16.16 = 256 фут.

101. Сказанное выше объ инерціи объясняетъ намъ, почему движеніе свободно падающаго тѣла должно ускоряться. Скорость, разъ сообщенная тѣлу силою тяжести, по инерціи сохраняется имъ, а такъ какъ тяжесть продолжаетъ дѣйствовать непрерывно, то въ слѣдующій моментъ къ этой скорости прибавляется новая и т. д.

Если тѣло падаетъ въ воздухѣ, то сопротивленіе послѣдняго не остается все время одинаковымъ: по мѣрѣ того, какъ движеніе ускоряется, сопротивленіе возрастаетъ и оказываетъ все большее противодѣйствіе силѣ, влекущей тѣло внизъ, т. е. тяжести; когда наконецъ сопротивленіе сравняется съ движущей силою, то ускоряющая причина исчезнетъ, и тѣло будетъ (по инерціи) двигаться равномѣрно. Таково напр. паденіе дождевыхъ капель въ тихую погоду: при достаточной быстротѣ паденія, тяжесть капли и противодѣйствіе воздуха приблизительно уравновѣшиваются. Чѣмъ относительно легче предметъ, тѣмъ конечно меньше будетъ быстрота движенія, при которой это достигается. Снѣжинки напр. въ безвѣтренную погоду всегда падаютъ медленно и довольно равномѣрно.

Движеніе тѣлъ брошенныхъ.

102. Камень, брошенный отвѣсно вверхъ, движется замедленно, т. е. съ убывающею быстротою, потому что изъ первоначальной скорости (съ какою камень былъ брошенъ) въ каждый моментъ времени нѣчто отнимается непрерывнымъ дѣйствіемъ тяжести. Притомъ дѣйствіе тяжести въ той же мѣрѣ замедляетъ движеніе брошеннаго камня, въ какой ускоряетъ движеніе падающаго. Поэтому камень движется вверхъ столько же времени, сколько ему нужно, чтобы упасть съ высшей точки полета; падая обратно и достигнувъ мѣста, съ котораго былъ брошенъ, онъ пріобрѣтаетъ первоначально сообщенную ему скорость. (Конечно все это вѣрно постольку, поскольку сопротивленіемъ воздуха можно пренебречь).



95.

103. Положимъ теперь, что камень брошенъ горизонтально со скоростью напр. 24 футовъ въ секунду. Съ такой скоростью онъ продолжалъ бы двигаться по горизонтальному направленію, если бы былъ свободенъ отъ всякихъ внѣшнихъ дѣйствій. Но на него непрерывно дѣйствуетъ тяжесть, заставляющая его приближаться къ землѣ, и камень въ дѣйствительности движется по нѣкоторой кривой линіи. Видъ этой кривой (если оставить въ сторонѣ сопротивленіе воздуха) можно найти слѣдующимъ построеніемъ. Проведемъ изъ точки A, изъ которой камень брошенъ, двѣ прямыя: горизонтальную и вертикальную (рис. 95). На горизонтальной отложимъ нѣсколько равныхъ отрѣзковъ, изъ которыхъ каждый пусть изображаетъ собою длину въ 24 ф. Если бы камень двигался только по инерціи (представимъ себѣ временно дѣйствіе тяжести

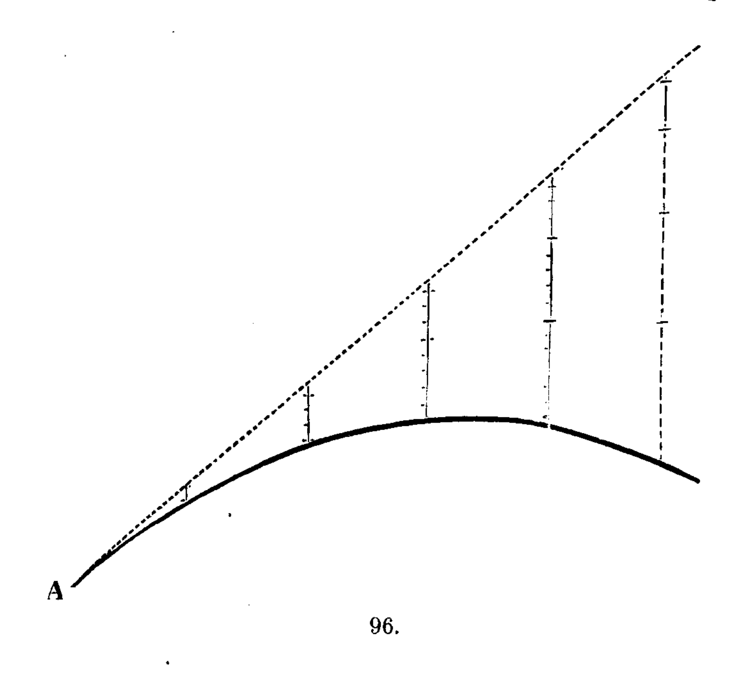
устраненнымъ), то по истеченіи 1-й секунды онъ пришелъ бы въ точку *1*, по истеченіи второй — въ *2* и т. д. Но отъ дѣйствія тяжести онъ въ то же самое время падаетъ: онъ упадетъ на 16 ф. въ первую секунду, еще на 48 ф. (=3. 16) во вторую и т. д. Отложимъ на вертикальной прямой (*AC*) отрѣзки, которые изображали бы (въ томъ же масштабѣ, какой принятъ для частей по *AB*) длины 16 ф., 48 ф., 80 ф. Въ такомъ случаѣ, если бы камень падалъ отвѣсно (т. е. не получивъ толчка по горизонт. направленію) изъ точки *A*, то черезъ секунду онъ достигъ бы точки *1′* на вертикальной прямой, черезъ двѣ секунды—точки *2′* и т. д. Но сила тяжести производитъ свое дѣло независимо отъ того, находился ли камень сперва въ покоѣ, или же ему былъ данъ толчокъ въ горизонтальномъ направленіи. Камень по истеченіи 1-й секунды окажется въ точкѣ *I*, по истеченіи второй—въ *II*, третьей—въ *III* и т. д. Если вмѣсто секундъ мы возьмемъ для построенія промежутки времени болѣе короткіе (полусекунды и т. д.), то найденныя нами точки (*I*, *II*,...) будутъ лежать ближе другъ къ другу. Ясно, что мы получимъ тѣмъ болѣе точный чертежъ требуемой кривой линіи, чѣмъ короче будутъ промежутки времени, принятые нами за единицу вмѣсто секунды.

Послѣ этого мы едва-ли затруднимся начертить кривую, по которой будетъ двигаться тѣло, брошенное наклонно къ горизонту (см. рис. 96, на которомъ приблиз. начерченъ путь тѣла, брошеннаго изъ точки *A* подъ угломъ въ 45° съ первоначальною скоростью 160 фут. въ секунду).

Кривыя, описываемыя въ этомъ случаѣ брошеннымъ тѣломъ, называются „параболами“. Сопротивленіе воздуха усложняетъ явленіе и нѣсколько измѣняетъ видъ кривой. Но при небольшой скорости это измѣненіе ничтожно, и кривую хорошо можно наблюдать напр. на струѣ воды, выбрасываемой изъ наклонно стоящей трубки фонтана.

104. Какъ видимъ, способъ нахожденія кривой линіи, по которой движется брошенное тѣло, основывается на допущеніи, что сила тяжести дѣйствуетъ на движущееся тѣло точно такъ, какъ на тѣло, находившееся въ покоѣ, т. е. что тѣло въ послѣдовательныя секунды приближается къ землѣ настолько же въ первомъ случаѣ, какъ и во второмъ. Такое допущеніе оправдывается всѣми выводимыми изъ него слѣдствіями и тоже составляетъ—въ болѣе общей формѣ—одно изъ основныхъ началъ механики.

Наши обыденныя представленія о движеніяхъ очень часто находятся въ противорѣчіи съ этимъ началомъ. Намъ кажется, что на тѣло движущееся, особенно когда оно несется очень быстро, постороннія движущія причины какъ бы дѣйствуютъ слабѣе, чѣмъ на покоющееся. Разбѣжавшись, мы перескакиваемъ чрезъ широкую канаву; мы думаемъ, что, благодаря „разбѣгу“ или „размаху“, сила тяжести временно

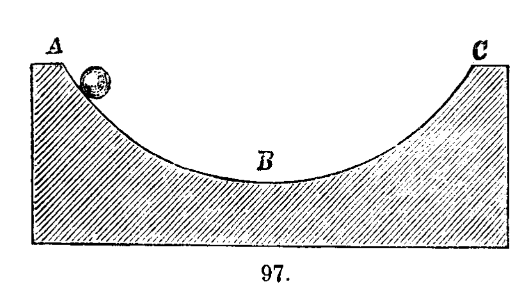


96.

какъ бы перестаетъ уклонять наше тѣло внизъ. Точно такъ же намъ кажется, что сила тяжести не уклоняетъ пули, съ большой скоростью выброшенной изъ ружья, отъ ея прямолинейнаго пути, если онъ коротокъ, напр. составляетъ нѣсколько десятковъ шаговъ. Но эти ошибочныя заключенія зависятъ лишь отъ малости промежутковъ времени, въ теченіе которыхъ мы наблюдаемъ движеніе, и отъ трудности замѣтить соотвѣтствующее имъ уклоненіе внизъ, т. е. паденіе. Въ дѣйствительности такое уклоненіе происходитъ всегда и можетъ быть вычислено на основаніи точно извѣстныхъ законовъ движенія.

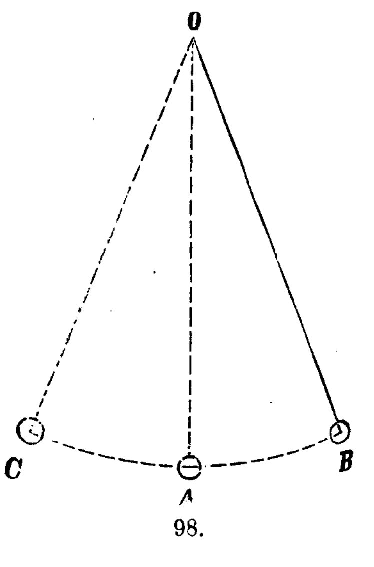
О качаніяхъ маятника.

105*. Разберемъ еще слѣдующій примѣръ движенія тѣла подъ дѣйствіемъ тяжести. Представимъ себѣ круговой желобъ (на рис. 97 круговая дуга *A B C*), на который положенъ тяжелый шарикъ. Если отведемъ его въ сторону отъ низшей точки дуги (*B*) и отпустимъ, то тяжесть заставитъ его падать. Шарикъ будетъ катиться внизъ какъ бы по ряду наклонныхъ плоскостей, наклонъ которыхъ къ горизонту все уменьшается. Вслѣдствіе пріобрѣтенной скорости—по инерціи — онъ перейдетъ за точку *B* и поднимется на нѣкоторую высоту по другую ея сторону. Затѣмъ онъ пойдетъ обратно и т. д. Движеніе шарика будетъ колебательное; оно состоитъ изъ ряда послѣдовательныхъ паденій и поднятій тѣла. Вслѣдствіе сопротивленій, встрѣчаемыхъ шарикомъ на пути (главн. обр. конечно тренія), онъ скоро остановится.



97.

Подобное же колебательное движеніе можно наблюдать гораздо дольше, если подвѣсить тяжелый шарикъ на нити и, выведя нить изъ отвѣснаго направленія, отпустить шарикъ (рис. 98). Онъ будетъ качаться (колебаться) изъ стороны въ сторону, пока сопротивленіе воздуха и другія менѣе замѣтныя помѣхи наконецъ не заставятъ его успокоиться. Въ этомъ случаѣ приборъ называется маятникомъ. Вѣсъ нити сравнительно съ подвѣскомъ предполагается ничтожно малымъ: можно считать, что нить служитъ только для удерживанія подвѣска на дугѣ *B A C*. Каждое качаніе, какъ и въ предшествовавшемъ примѣрѣ, состоитъ изъ паденія и поднятія подвѣшеннаго тѣла. Время, въ теченіе котораго подвѣсокъ проходитъ всю дугу, отъ одного крайняго положенія до другого, называется продолжительностью или временемъ одного качанія. Разстояніе отъ точки привѣса (*O*) до центра шарика въ нашемъ простомъ случаѣ мы назовемъ длиною маятника. (Для точныхъ наблюденій употребляются маятники гораздо болѣе сложнаго устройства).



98.

106*. Этотъ нехитрый приборъ научаетъ насъ многому. Сосчитывая число качаній маятника въ теченіе достаточно большого промежутка времени, можно придти къ слѣдующимъ выводамъ:

1) Продолжительность колебанія (т. е. время каждаго отдѣльнаго качанія) маятника данной длины почти не зависитъ отъ величины его размаха, т. е. отъ длины дуги, проходимой подвѣскомъ, и чѣмъ меньше размахъ, тѣмъ ничтожнѣе разница въ продолжительности послѣдовательныхъ колебаній.

2) Продолжительность колебанія маятниковъ—при одной и той же длинѣ—не зависитъ отъ матерьяла, изъ котораго сдѣланъ маятникъ (въ нашемъ случаѣ его подвѣсокъ).

Наблюденія этого рода требуютъ не мало вниманія; точное же опытное доказательство второго положенія сопряжено съ разными трудностями, такъ какъ необходимо сдѣлать сопротивленіе при колебаніяхъ какъ можно меньше и уравнять его въ разныхъ случаяхъ. Понятно, что въ воздухѣ два одинаковой длины маятника съ подвѣсками напр. изъ желѣза и пробки стали бы качаться далеко не одинаковымъ образомъ

3) Продолжительность колебанія измѣняется съ длиною маятника: маятникъ болѣе длинный сдѣлаетъ въ данное время меньше качаній, чѣмъ болѣе короткій. Въ этомъ обстоятельствѣ убѣдиться проще всего, и оно конечно извѣстно каждому.

107. Разсмотримъ нѣкоторыя замѣчательныя слѣдствія, къ которымъ приводятъ указанныя особенности маятничныхъ качаній.

Время колебанія маятника зависитъ отъ его длины. Можно изготовить такой маятникъ, который совершалъ бы условленное число качаній въ теченіе нашихъ **сутокъ**. Маятникъ, который сдѣлалъ бы въ сутки ровно 86400 качаній (86400 = 24.60.60), даетъ намъ „секунды" времени и называется **секунднымъ**. **Секунда** есть именно время одного качанія маятника, совершающаго въ теченіе нашихъ сутокъ 86400 колебаній. Если нашъ упрощенный маятникъ (§ 105) сдѣлаетъ въ минуту 60 качаній, то длина его (считаемая, какъ сказано выше, отъ точки привѣса до центра шарика) окажется равною приблиз. $3^1/_4$ фут., или немногимъ меньше 1 метра.

Такъ съ помощью маятника достигается точное подраздѣленіе сутокъ на меньшія единицы времени: время дѣлятъ и отсчитываютъ подобно длинѣ, вѣсу и пр. Маятникъ является точнымъ **измѣрителемъ времени** [1].

108. Далѣе, **продолжительность качанія маятника не зависитъ отъ матерьяла подвѣска.**

[1] Надо замѣтить, что продолжительность нашихъ гражданскихъ сутокъ (такъ наз. сутокъ средняго солнечнаго времени) не вполнѣ одинакова съ временемъ, въ теченіе котораго земля обращается вокругъ своей оси, а приблизительно на 4 минуты больше послѣдняго; 365 гражданскихъ сутокъ почти равны 366 разъ взятому времени обращенія земли. Въ теченіе времени одного обращенія земли „секундный" маятникъ сдѣлалъ бы 86164 качанія (это число меньше 86400 приблизительно на столько, сколько секундъ въ 4 минутахъ).

Для удобнаго **отсчитыванія времени** маятникъ соединяютъ **съ часовымъ механизмомъ**. Гиря или пружина приводятъ въ движеніе рядъ зубчатыхъ колесъ. Послѣднее колесо этого ряда (то, которое вращается всего скорѣе) поддерживаетъ толчками своихъ зубцовъ качанія маятника; а эти качанія дѣлаютъ ходъ часовъ, въ общемъ, равномѣрнымъ. Стрѣлки часовъ въ сущности указываютъ намъ, сколько качаній сдѣлалъ бы въ протекшее время секундный маятникъ: минуты и часы—только удобный счетъ числа секундъ. Укорачивая маятникъ часовъ, мы ускоримъ ихъ ходъ, потому что колебанія маятника сдѣлаются чаще, а удлиняя его—замедлимъ ходъ. Такъ можно управлять ходомъ часовъ съ большою точностью. Для этой цѣли „чечевица" (подвѣсокъ) маятника стѣнныхъ часовъ дѣлается подвижной, такъ что можетъ быть приподнята или опущена, по мѣрѣ надобности.

Часы съ точнымъ ходомъ сдѣлались возможными только со времени примѣненія къ нимъ маятника. Раньше довольствовались „солнечными часами" и другими приспособленіями, гораздо менѣе точными и удобными, чѣмъ современные намъ часы.

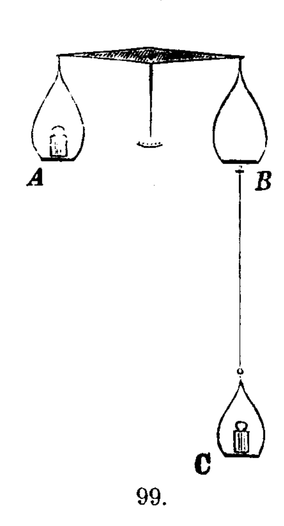
Вотъ новое—и притомъ очень точное—доказательство того, что всѣ тѣла, независимо отъ ихъ размѣровъ и матерьяла, падаютъ одинаково скоро. Въ самомъ дѣлѣ, положимъ напр., что нѣкоторое тѣло M падало бы немного скорѣе другого, N. Такъ какъ колебанія маятника состоятъ изъ ряда послѣдовательныхъ паденій и поднятій подвѣска, то маятникъ (при одинаковой длинѣ) пробѣгалъ бы дугу BC (рис. 98) съ подвѣскомъ M немного быстрѣе, нежели съ подвѣскомъ N, и продолжительность каждаго качанія была бы въ первомъ случаѣ нѣсколько меньше. Но продолжительность качанія маятниковъ можно сравнивать съ чрезвычайною точностью, сосчитывая число качаній въ теченіе большого промежутка времени. Изготовляютъ маятники, дѣлающіе въ безвоздушномъ помѣщеніи десятки тысячъ качаній до полной остановки. Понятно, что малѣйшая разница въ продолжительности качаній, при столь большомъ числѣ ихъ, была бы замѣчена. И вотъ самые тщательные опыты **не обнаружили никакой разницы** въ числѣ качаній маятника въ данный промежутокъ времени, хотя бы матерьялъ подвѣска былъ очень различенъ. Прямыя наблюденія надъ паденіемъ тѣлъ могли еще оставить нерѣшеннымъ вопросъ, дѣйствительно ли между быстротою паденія тѣлъ столь различной плотности, какъ напр. пробка и платина, нѣтъ **никакой** разницы; но изученіе качаній маятника не оставляетъ въ этомъ никакого сомнѣнія.

Объ измѣняемости вѣса тѣлъ; вѣсъ и масса.

109. Вѣсъ тѣлъ мы приписываемъ нѣкоторому дѣйствію на нихъ извнѣ, нѣкоторому „притяженію" ихъ землею. Одинаково ли это дѣйствіе на разныхъ разстояніяхъ отъ земли? Не будетъ ли оно ослабляться съ увеличеніемъ разстоянія,—подобно тому напр., какъ притяженіе куска желѣза магнитомъ ослабѣваетъ по мѣрѣ ихъ удаленія другъ отъ друга? Опытъ отвѣчаетъ на этотъ вопросъ утвердительно. Представимъ себѣ очень чувствительные вѣсы, установленные въ верхнемъ этажѣ зданія, и пусть къ одной изъ чашекъ (B) подвѣшена другая (C) на длинной проволокѣ, спускающейся до низу (рис. 99). Если уравновѣсить на чашкахъ A и B два груза, а потомъ переложить грузъ съ верхней чашки (B)

на нижнюю (C), то онъ замѣтно перетянетъ. Разница будетъ еще больше, если сперва уравновѣсить грузы на чашкахъ A и C, а затѣмъ переложить одинъ вмѣсто другого, потому что вѣсъ опущеннаго ниже груза увеличится, а поднятаго—настолько же уменьшится.

Этимъ путемъ конечно можно сравнивать силу тяжести въ точкахъ, находящихся на довольно ограниченномъ разстояніи одна отъ другой. Но есть пріемъ, имѣющій очень обширное примѣненіе: онъ основывается на наблюденіи качаній маятника. Не скажется ли измѣняемость силы тяжести различной быстротою паденія тѣлъ? Превосходное средство рѣшить этотъ вопросъ даетъ намъ именно маятникъ, такъ какъ малѣйшія разницы въ быстротѣ паденія тѣлъ должны отзываться на продолжительности его колебаній, а именно, чѣмъ меньше быстрота паденія (т. е. чѣмъ меньше путь, проходимый тѣломъ въ первую и послѣдующія секунды), тѣмъ медленнѣе будутъ качанія, — и наоборотъ.



99.

Замедленіе качаній маятника съ удаленіемъ его отъ уровня моря на доступныхъ намъ высотахъ однако очень незначительно. Если бы можно было напр. произвести точныя наблюденія на высотѣ 8 верстъ, то оказалось бы, что секундный маятникъ, дѣлающій на уровнѣ моря 720 колебаній въ 12 минутъ, сдѣлалъ бы на этой высотѣ въ то же самое время однимъ качаніемъ меньше.

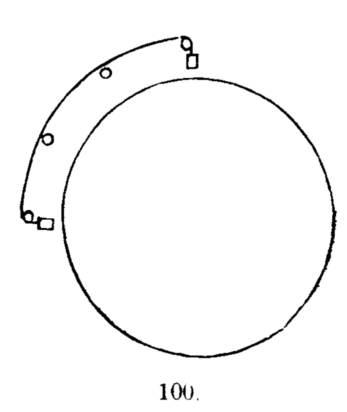
110. Но наблюденіями надъ маятникомъ обнаружено и еще нѣчто. Найдено, что число колебаній, которое маятникъ производитъ въ данное время, измѣняется и съ перемѣщеніемъ на самой землѣ, именно изъ однѣхъ географическихъ широтъ въ другія,—хотя бы высота его надъ уровнемъ моря оставалась та же самая. Положимъ, что нами точно опредѣлено число качаній маятника въ теченіе достаточно большого времени въ Харьковѣ. Оказалось бы, что, будучи перенесенъ въ Петербургъ, т. е. сѣвернѣе, маятникъ въ то же самое время сдѣлаетъ нѣсколько большее число колебаній, а напр. въ Одессѣ (южнѣе)—меньшее. Хорошіе часы съ маятникомъ, ходъ которыхъ точно установленъ въ Харьковѣ, стали бы идти впередъ въ Петербургѣ и отставать въ Одессѣ (конечно все это при соблюденіи многихъ условій, при которыхъ вообще возможенъ правильный ходъ часовъ, и на одной и той же высотѣ надъ уровнемъ моря).

Всѣ свѣдѣнія объ измѣняемости силы тяжести на земной поверхности добыты именно путемъ наблюденій надъ колебаніями маятника и связанныхъ съ ними сложныхъ вычисленій. При переходѣ отъ полюсовъ земли къ экватору сила тяжести уменьшается приблиз. на $1/200$, а при поднятіи на 3 версты надъ морскимъ уровнемъ — приблиз. на $1/1000$ всей величины.

111*. Итакъ сила, влекущая тѣло къ землѣ, не всюду одинакова. Она ослабляется нетолько съ удаленіемъ отъ морского уровня, но нѣсколько различна подъ разными географическими широтами, именно убываетъ по направленію отъ полюсовъ къ экватору.

Отсюда вытекаетъ чрезвычайно любопытное и важное слѣдствіе по отношенію къ вѣсу тѣлъ. Мы слишкомъ привыкли считать вѣсъ тѣла чѣмъ-то неразрывно съ нимъ связаннымъ и неизмѣннымъ. Взять меньшій вѣсъ, по нашему обыденному представленію, значитъ то же, что взять меньшее количество матерьяла; предметъ, ничего не вѣсящій, мы склонны были бы счесть за „невещественный“. И однако такой взглядъ надо оставить, какъ совершенно не отвѣчающій дѣйствительности. О вѣсѣ тѣлъ мы судимъ по давленію или тягѣ, производимымъ ими вертикально внизъ. Это давленіе или эта тяга зависятъ отъ силы тяжести, а она, какъ именно учатъ наблюденія, неодинакова на разныхъ высотахъ надъ уровнемъ моря и подъ разными географическими широтами (на одинаковомъ уровнѣ). Вмѣстѣ съ нею будетъ слѣдовательно измѣняться и вѣсъ тѣла. Въ самомъ дѣлѣ, если бы мы имѣли достаточно чувствительные пружинные вѣсы, то, поднявшись съ ними на нѣкоторую высоту, нашли бы, что фунтовая гиря вытягиваетъ уже меньше фунта. На 8-верстной высотѣ вѣсъ гири, опредѣленной такимъ образомъ, оказался бы приблизительно на $1/400$ меньше, чѣмъ на уровнѣ моря. Гиря,

вытягивающая ровно фунтъ въ Харьковѣ, оказалась бы въ Петербургѣ (на одномъ и томъ же уровнѣ) имѣющею бо́льшій вѣсъ, а въ Одессѣ—меньшій. Если бы тѣло на нашихъ пружинныхъ вѣсахъ вытягивало близъ земныхъ полюсовъ 200 граммовъ, то подъ экваторомъ его вѣсъ на такихъ же вѣсахъ былъ бы найденъ приблизительно 1 граммомъ меньше. Если бы можно было (рис. 100) подвѣсить двѣ одинаковыхъ гири къ концамъ проволоки, протянутой отъ полюса къ экватору (устранивъ конечно и всякое треніе), то гиря на полюсѣ перетянула бы.


100.

Обычное взвѣшиваніе не обнаруживаетъ разницъ въ вѣсѣ тѣла. Почему? Наши пружинные вѣсы не достаточно чувствительны для этого. Уравновѣшивая же тѣло гирями на вѣсахъ съ коромысломъ, хотя бы и очень чувствительныхъ, нельзя замѣтить измѣненія вѣса съ перемѣною мѣста, потому что вѣсъ гирь измѣняется въ томъ же самомъ отношеніи, какъ и взвѣшиваемаго тѣла.

112. Разницы въ вѣсѣ тѣла близъ земной поверхности, практически говоря, ничтожны. Суть дѣла однако не въ ихъ величинѣ. Уже самое существованіе ихъ показываетъ намъ, что вѣсъ тѣла вовсе не есть нѣчто неизмѣнное. Но пойдемъ дальше и положимъ, что мы могли бы удаляться съ какою-нибудь гирей на сотни и тысячи верстъ отъ земли. Притяженіе между ею и землею становилось бы все слабѣе, и вѣсъ гири дѣлался бы все меньше. Простое вычисленіе показываетъ, что напр. на разстояніи 12000 верстъ (двухъ земныхъ радіусовъ) отъ центра земли, т. е. въ 6000 верстахъ отъ земной поверхности, тѣла вѣсили бы уже въ 4 раза меньше, чѣмъ на самой землѣ, а на разстояніи 60000 верстъ (десяти земныхъ радіусовъ) отъ земного центра—въ 100 разъ меньше. Ничто не мѣшаетъ намъ представить себѣ предметъ настолько удаленнымъ отъ земли, чтобы притяженіе его землею нельзя было обнаружить никакими способами: тѣло, оставаясь во всѣхъ остальныхъ отношеніяхъ вещественнымъ предметомъ, не имѣло бы вѣса.

Вѣсъ не есть что-либо присущее самому тѣлу, а обусловливается его близостью къ другому большому тѣлу—землѣ. Одно и то же тѣло можетъ имѣть очень различный вѣсъ, смотря по его положенію относительно земли или — прибавимъ — относительно какого-нибудь другого небеснаго тѣла.

Напротивъ, количество матерьяла или вещества есть нѣчто въ данномъ тѣлѣ постоянное и измѣняется только съ прибавкою или отнятіемъ чего-нибудь вещественнаго. Если представить себѣ гирю перенесенною куда угодно, то „количество“ мѣди или желѣза въ ней конечно останется то же самое, хотя „вѣсъ“ гири, смотря по мѣсту, можетъ быть очень различенъ.

Обычный способъ взвѣшиванія, состоящій въ сравненіи вѣса тѣла и гирь, не открываетъ измѣняемости вѣса, но вмѣстѣ съ тѣмъ позволяетъ намъ дѣлать правильныя заключенія по вѣсу о количествѣ вещества. И это потому, 1) что взвѣшиваемое тѣло и гири находятся въ одномъ и томъ же мѣстѣ земной поверхности, 2) что съ перемѣною мѣста вѣсъ всѣхъ тѣлъ измѣняется въ одномъ и томъ же отношеніи — совершенно независимо отъ различій въ матерьялѣ. Послѣднее обстоятельство, надо замѣтить, доказано со всей возможной въ наукѣ точностью.

113. Итакъ о количествѣ вещества въ тѣлѣ— соблюдая опредѣленныя условія взвѣшиванія — можно судить по вѣсу; но смѣшивать то, что хотятъ сказать этими выраженіями, было бы примѣрно столь же ошибочно, какъ не отличать груза, поднимаемаго мышечной силою человѣка, отъ самой этой силы.

Истинная мѣра количества вещества въ тѣлѣ называется въ физикѣ его массою. Масса тѣла столь же постоянна, какъ количество заключающагося въ немъ вещества, и измѣняется только съ прибавкою или отнятіемъ чего-нибудь вещественнаго. Иногда словомъ „масса“ пользуются прямо для обозначенія количества вещества; „вѣсъ“ же тѣла въ точномъ смыслѣ есть сила, влекущая его къ землѣ по отвѣсному направленію.

---

93 и **94**. Отчего было бы ошибочно судить о вѣсѣ тѣлъ по быстротѣ ихъ паденія въ воздухѣ? Можно ли судить о вѣсѣ по быстротѣ паденія тѣлъ въ „пустотѣ?“ — Сопротивленіе воздуха движущемуся тѣлу сказывается нѣкоторымъ *давленіемъ* на предметъ. Чѣмъ послѣднее отличается отъ такъ наз. атмосфернаго давленія?—Почему возможенъ спокойный спускъ на парашютѣ (большой зонтъ съ отверстіемъ вверху?). — **95.** Привести примѣры движеній, которыя съ большимъ или меньшимъ приближеніемъ можно считать равномѣрными; — прямолинейными.—Положимъ, пѣшеходъ проходитъ по 6 верстъ ежечасно; можно ли назвать его движеніе равномѣрнымъ въ смыслѣ даннаго въ текстѣ опредѣленія? А если онъ проходитъ по 50 саж. въ каждую минуту? По $5^5/_6$ фут. въ каждую секунду? Принимая во вниманіе самый процессъ „ходьбы“, можно ли движеніе пѣшехода подвести подъ опредѣленіе равномѣрнаго движенія? — Равномѣрно ли движеніе стрѣлки часовъ? (Всмотрѣться въ движеніе минутной стрѣлки часовъ съ большимъ циферблатомъ). — Какъ узнать, равномѣрно ли идетъ желѣзнодорожный поѣздъ на полномъ ходу? Поѣздъ прошелъ 250 саж. въ 40 секундъ. Считая движеніе равномѣрнымъ, выразить его скорость *a*) въ футахъ въ секунду, *b*) въ верстахъ въ часъ. *Отв.* *a*) $43^3/_4$ ф./сек. *b*) 45 вер./час.—Сколько метровъ въ секунду проходитъ поѣздъ, двигаясь со скоростью 80 км./час.? *Отв.* $22^2/_9$ м. — **97.** Указать случаи, въ которыхъ замѣчается стремленіе тѣла продолжать сообщенное ему движеніе, и такіе, гдѣ оно какъ бы упорствуетъ въ состояніи покоя. (Примѣровъ множество). — Почему, скатившись на санкахъ съ горы, мы долго движемся по льду? Отчего мы падаемъ—и именно впередъ—запнувшись при ходьбѣ или бѣгѣ? Какое значеніе имѣетъ сгибаніе колѣнъ въ тотъ моментъ, когда мы становимся на землю, спрыгнувъ со значительной высоты? — Если положить монету на карту, а карту на стаканъ, то сильнымъ щелчкомъ по ребру карты можно вышибить ее, и монета упадетъ въ стаканъ; слабый же толчекъ отбрасываетъ въ сторону и то, и другое. На что указываетъ эта разница?—Какими двумя различными пріемами стряхиваютъ чернила съ пера? На чемъ основывается „выколачиваніе“ пыли изъ домашнихъ вещей? Какъ плотникъ насаживаетъ на топорище нѣсколько сдвинувшійся съ него топоръ (два разныхъ пріема?).—**98—100**. На примѣрѣ какой всѣмъ извѣстной наклонной плоскости мы во-очію убѣждаемся, что движеніе по ней — ускоряющееся? —Если шарикъ, скатывающійся съ наклонной плоскости, въ первую секунду движенія пробѣжалъ 6 дюймовъ, то сколько онъ пробѣжитъ во 2-ю, 3-ю, . . . 5-ю секунды? Сколько онъ пройдетъ во всѣ 5 секундъ движенія? (Сопротивленія движенію въ разсчетъ не принимаются). *Отв.* Въ 5 секундъ онъ пройдетъ $1 . 6 + 3 . 6 + 5 . 6 + 7 . 6 + 9 . 6 = 25 . 6 = 150$ дюйм. Обративъ вниманіе на то, что $1 + 3 = 2 . 2$, $1 + 3 + 5 = 3 . 3$, $1 + 3 + 5 + 7 = 4 . 4$ т. д., можно послѣдняго рода вопросы рѣшать короче. Сколько напр. пробѣжалъ бы тотъ же шарикъ въ 10 секундъ? *Отв.* $6 . (10 . 10) = 600$ дюйм. — Произведеніе числа самого на себя, какъ извѣстно, называется *второю степенью* или *квадратомъ* этого числа. Итакъ, чтобы найти длину пути, проходимаго скатывающимся съ наклонной плоскости тѣломъ (предполагая отсутствіе сопротивленій), стоитъ только путь *первой секунды* умножить на *квадратъ числа секундъ*, протекшихъ отъ начала движенія.—**105** и **106**. Равномѣрно ли движеніе подвѣска маятника на протяженіи пробѣгаемой имъ дуги? Въ какой точкѣ дуги скорость его должна быть наибольшая? (Обычное выраженіе: маятникъ движется или качается „равномѣрно“ означаетъ собственно, что колебанія его „равновременны“). — При *нагрѣваніи* стержень маятника часовъ удлиняется, а при охлажденіи укорачивается; какъ должны сказаться перемѣны температуры на ходѣ часовъ?—**111.** При обычномъ способѣ взвѣшиванія гирями нельзя замѣтить измѣненія вѣса тѣла съ перемѣнами мѣста на земной поверхности. Почему же оно можетъ быть обнаружено достаточно чувствительными *пружинными* вѣсами, хотя они, судя по способу нанесенія дѣленій на шкалу, должны бы показывать тотъ же вѣсъ, какъ и при взвѣшиваніи гирями? Можно ли было бы замѣтить измѣненіе вѣса при взвѣшиваніи на пружинныхъ вѣсахъ безъ предварительно раздѣленной шкалы, по способу замѣны (см. § 37?).

VII.

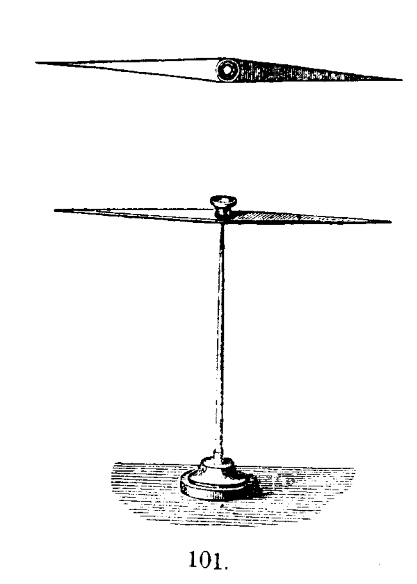
О механическомъ взаимодѣйствіи тѣлъ и о силахъ. Тяжесть и всеобщее тяготѣніе.

Механическое взаимодѣйствіе тѣлъ; сила.

114. Выше мы не разъ встрѣчались со словомъ „сила“; въ особенности много мѣста было отведено силѣ тяжести. Теперь время познакомиться ближе съ тѣмъ, какой смыслъ придается слову „сила“ въ ученіи о движеніи тѣлъ (механикѣ).

Наблюдаемыя нами разнообразнѣйшія движенія конечно вызываютъ вопросъ: какими причинами производится и поддерживается движеніе тѣлъ? Во многихъ случаяхъ мы прямо видимъ, что одно тѣло тянетъ или толкаетъ другое, или съ увѣренностью заключаемъ объ этомъ, хотя бы движущій предметъ былъ невидимъ (дѣйствія вѣтра); въ другихъ —

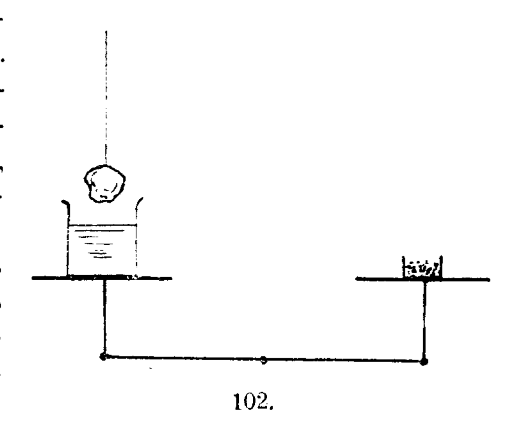
дѣйствіе передается какъ то иначе, безъ того, чтобы тѣла соприкасались: таково напр. притяженіе предметовъ землею. Возьмемъ еще слѣдующій примѣръ. Кусокъ желѣза приближается или „притягивается“ къ магниту, если находится отъ него достаточно близко и если можетъ свободно двигаться. Концы двухъ магнитовъ (магнитныхъ палочекъ) или сближаются, или удаляются другъ отъ друга, если магниты (или хотя бы одинъ изъ нихъ) расположены достаточно подвижно; мы говоримъ, что концы магнитовъ либо „притягиваются“, либо „отталкиваются“. Всѣмъ извѣстна магнитная стрѣлка: это заостренный къ концамъ магнитикъ, свободно поворачивающійся въ горизонтальномъ положеніи на остромъ шпенькѣ (рис. 101). Если конецъ стрѣлки притягивается къ одному концу магнитной палочки, то онъ будетъ отталкиваться отъ другого ея конца. Къ этимъ явленіямъ мы вернемся впослѣдствіи. Какъ бы то ни было, и здѣсь движеніе производится дѣйствіемъ одного тѣла на другое.



101.

115. Когда мы замѣчаемъ, что измѣненіе въ положеніи тѣла или его частей производится другимъ тѣломъ, мы говоримъ, что на него дѣйствуетъ это другое тѣло. Но, выражаясь такимъ образомъ, мы часто совсѣмъ упускаемъ изъ виду, что и послѣднее неизбѣжно подвергается дѣйствію перваго. Когда мы надавливаемъ пальцемъ на доску стола, нашъ палецъ испытываетъ встрѣчное давленіе со стороны доски: только благодаря послѣднему мы и получаемъ ощущеніе давленія; если бы никакого противодѣйствія не было, мы не могли бы замѣтить самого прикосновенія къ столу, какъ не ощущаемъ прикосновенія къ тѣни. Въ случаѣ наступившаго равновѣсія совершенно ясно, что давленіе нашего пальца на доску равно обратному (встрѣчному) давленію доски на палецъ. (См. также другіе примѣры въ § 35). Если крюкъ пружинныхъ вѣсовъ прикрѣпить къ стѣнѣ и тянуть, то указатель вѣсовъ передвинется— потому конечно, что рука наша „тянетъ“ за другой конецъ вѣсовъ. Но какъ мы могли бы „тянуть“, если бы не противодѣйствовала стѣна, если бы она не „тянула“ обратно? И стѣна тянетъ въ той же самой мѣрѣ, какъ наша рука. Если мы напр. сцѣпимъ крюками двое (свѣренныхъ) пружинныхъ вѣсовъ и, прикрѣпивъ кольцо однихъ къ стѣнѣ, станемъ тянуть за кольцо другихъ, то указатель вѣсовъ конечно передвинется въ тѣхъ и другихъ на одно и то же число дѣленій. Дѣло происходитъ совершенно такъ, какъ если бы кто нибудь удерживалъ рукою кольцо первыхъ вѣсовъ, значитъ—тянулъ бы за него постольку, поскольку мы тянемъ въ свою сторону.

Если соединимъ между собою два тѣла A и B спиральной пружиной или резинкой и растянемъ ее, то тѣла будутъ притягиваться другъ къ другу: тѣло A притягиваетъ къ себѣ другое, B, постольку, поскольку послѣднее тянетъ къ себѣ A. Если сдавить пружину, то тѣла будутъ взаимно отталкиваться, и отталкиваніе въ обѣ стороны будетъ одинаково.



102.

Тѣло, погруженное въ жидкость, испытываетъ съ ея стороны поддерживающее или выталкивающее давленіе, равное вѣсу вытѣсненной тѣломъ жидкости (Архимедовъ законъ, гл. V, § 83). Но что и тѣло давитъ обратно на жидкость—въ этомъ очень просто убѣдиться. Поставимъ на чашку вѣсовъ (рис. 102) стаканъ съ водою и уравновѣсимъ его напр. дробью. Если затѣмъ опустимъ въ воду привязанный на ниткѣ камень, то стаканъ съ водою перетянетъ. Легко сообразить, какъ именно велико давленіе камня на воду, отъ котораго повидимому увеличивается вѣсъ жидкости. Погруженіе камня производитъ точно такое же дѣйствіе, какъ будто бы въ стаканъ

было прилито столько воды, сколько вытѣснено камнемъ. Слѣдовательно кажущееся увеличеніе вѣса жидкости должно равняться вѣсу воды, замѣщенной камнемъ, — а это и есть величина поддерживающаго давленія. Итакъ давленіе жидкости на камень равняется обратному его давленію на жидкость.

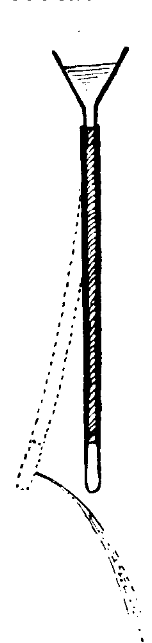
116. Обратимся теперь къ такимъ дѣйствіямъ тѣлъ другъ на друга, при которыхъ возникаетъ или измѣняется движеніе тѣлъ. Соединивъ спиральной пружиной или резинкой двѣ гири, растянемъ упругую связь и предоставимъ гири самимъ себѣ. Обѣ онѣ придвинутся другъ къ другу. Если бы пружина была скручена и потомъ отпущена, то обѣ гири стали бы поворачиваться—въ противоположныя стороны. Когда два наскочившихъ билліардныхъ шара ударяются другъ о друга, оба сжимаются и оба измѣняютъ свое движеніе.

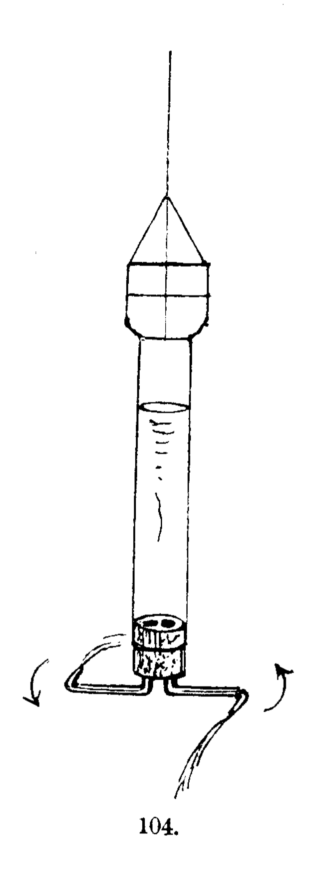
Паровозъ, тянущій вагоны, самъ подвергается ихъ тягѣ, ибо при той же самой работѣ паровоза движеніе его было бы быстрѣе, если бы противодѣйствія со стороны вагоновъ не было; въ самомъ дѣлѣ, если бы вагоны оторвались и слѣдовательно противодѣйствіе ихъ исчезло, то ходъ паровоза тотчасъ ускорился бы.

Когда артиллерійскій снарядъ или пуля выбрасываются давленіемъ пороховыхъ газовъ, орудіе или ружье также испытываютъ толчокъ—въ противоположную сторону (такъ наз. „отдача" при выстрѣлѣ).

Двигая какой-нибудь предметъ, мы сами неизбѣжно подвергаемся обратному его дѣйствію; это станетъ совершенно ясно, если представить себѣ, что противодѣйствіе вдругъ исчезло. Если мы быстро откинемъ въ сторону руку, держа въ ней массивную гирю, то наше туловище откинется въ противоположную; напротивъ, быстрое придвиганіе гири повлечетъ за собою и придвиганіе къ ней туловища. Каждый разъ, когда при ходьбѣ наше туловище подается впередъ, ноги наши получаютъ толчокъ назадъ, но встрѣчаютъ противодѣйствіе почвы („опираются" о нее); все значеніе этого противодѣйствія станетъ очевиднымъ, если вспомнить, какъ трудно ходить по скользкому льду. При быстромъ поворотѣ верхней части тѣла въ одну сторону, мы дѣлаемъ ногами усиліе, мѣшающее имъ повернуться въ противоположную; на льду, когда именно ноги не встрѣчаютъ достаточной опоры, движеніе ихъ прямо становится замѣтнымъ.

Струя воды, вытекающая подъ нѣкоторымъ давленіемъ изъ отверстія въ стѣнкѣ сосуда, какъ бы выталкивается изъ сосуда; вмѣстѣ съ тѣмъ сосудъ отталкивается отъ выбрасываемой жидкости. Это тотчасъ видно, если сосудъ достаточно подвиженъ. Присоединимъ къ воронкѣ резиновую трубку съ запаяннымъ стекляннымъ наконечникомъ, имѣющимъ сбоку отверстіе (рис. 103). Если въ воронку нальемъ воды, то она будетъ выбрасываться изъ отверстія струею, и резиновая трубка тотчасъ отклонится въ противоположную сторону (какъ показано на рисункѣ пунктиромъ). Отсюда понятно устройство механизмовъ, приходящихъ во вращательное движеніе при вытеканіи воды. На рис. 104 изображена простая модель одного изъ нихъ, легко изготовляемая изъ ламповаго стекла („Сегнерово колесо"). Нѣкоторые изъ двигателей, называемыхъ въ техникѣ турбинами, основаны на этомъ началѣ: онѣ приводятся во вращеніе выбрасываніемъ воды или водяного пара подъ значительнымъ давленіемъ (водяныя и паровыя турбины).

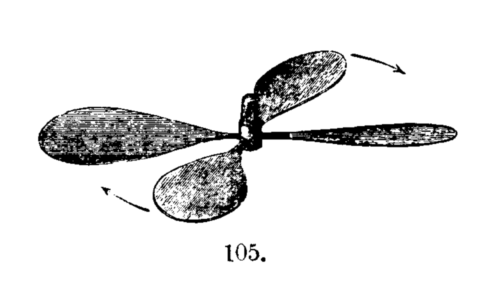

103.


104.

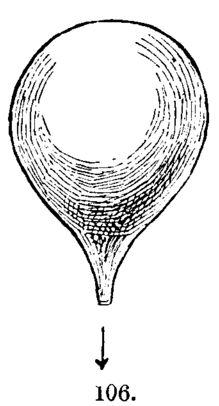
Дѣйствуя гребными веслами, мы очевидно пользуемся противодѣйствіемъ воды. На томъ же основано дѣйствіе пароходнаго колеса съ лопатками и пароходнаго винта.

Рис. 105 изображаетъ вертушку, крылья которой имѣютъ форму лопастей пароходнаго винта: если сообщить ей быстрое вращеніе (помощью особаго станочка), то она высоко

взлетаетъ вслѣдствіе противодѣйствія воздуха (стрѣлками показано направленіе вращенія). Напротивъ, если бы та же вертушка была укрѣплена на неподвижной оси, то при вращеніи она стала бы прогонять струю воздуха по направленію оси (вентиляторъ). — Противодѣйствіемъ воздуха пользуется летящая птица. Имъ же объясняется полетъ ракеты, выбрасывающей при горѣніи сильную струю газовъ внизъ; по той же самой причинѣ взвивается въ воздухъ легкій резиновый пузырь, если надуть его и разжать отверстіе, держа его книзу (рис. 106). Резиновая трубочка изображеннаго на рис. 103 прибора отбрасывается въ сторону, если вдувать въ нее струю воздуха.


105.

Когда желѣзо находится вблизи магнита, оба тѣла движутся, если только имъ предоставлена къ тому возможность. Желѣзо приближается къ магниту и наоборотъ — магнитъ къ желѣзу. Удаленіе или приближеніе концовъ двухъ магнитовъ также взаимны.


106.

И т. д. Примѣры механическихъ взаимодѣйствій неисчислимы. Мы видимъ, что всегда тѣло *A* дѣйствуетъ на другое, *B*, постольку, поскольку *B* дѣйствуетъ на *A*.—Что дѣйствіе и противодѣйствіе идутъ, такъ сказать, рука объ руку,—что одно усиливается вмѣстѣ съ другимъ,—это какъ нельзя рѣзче бросается въ глаза въ случаѣ сильныхъ кратковременныхъ дѣйствій, вродѣ удара тѣлъ и т. п. Когда ударомъ палки мы хотимъ произвести сильное давленіе на предметъ, мы стараемся сдѣлать палкою большой взмахъ; но то же самое мы дѣлаемъ, желая переломить палку, которую держимъ въ рукѣ: противодѣйствіе увеличивается вмѣстѣ съ дѣйствіемъ. Ударъ кулакомъ по столу тѣмъ сильнѣе отзывается на нашей рукѣ, чѣмъ значительнѣе былъ взмахъ. Извѣстно, что если со всего размаха ударить ладонью по поверхности воды, то можно ушибить руку. Сильно дернувъ за веревку, которую мы хотимъ порвать, мы можемъ ранить руку противодѣйствіемъ веревки. И т. д.

117. Очень часто однако намъ кажется, что дѣйствіе направлено предпочтительно въ одну сторону и даже только въ одну сторону. Представимъ себѣ напр., что два тѣла очень различной твердости ударяются другъ о друга: тогда дѣйствіе удара можетъ сказаться значительнымъ измѣненіемъ формы одного и ничтожнымъ или совсѣмъ незамѣтнымъ измѣненіемъ другого. При взаимномъ ударѣ двухъ тѣлъ обыкновенно разбивается менѣе крѣпкое изъ нихъ [1].

Когда тѣла взаимнымъ дѣйствіемъ приводятся въ движеніе, то это послѣднее будетъ одинаково или нѣтъ, смотря по условіямъ бо́льшей или меньшей подвижности тѣлъ. Возьмемъ опять два тѣла, соединенныхъ пружиною, которая была растянута и затѣмъ предоставлена самой себѣ. Если оба тѣла тожественны, и треніе ихъ о доску стола одинаково, то оба придвинутся другъ къ другу на одинаковое разстояніе. Но пусть одно изъ тѣлъ, *A*, менѣе подвижно, напр. находится на шероховатой поверхности: тогда оно меньше придвинется къ *B*, нежели послѣднее къ *A*, и намъ покажется, что тяга направлена предпочтительно къ *A*. Дѣйствіе можетъ представиться намъ направленнымъ исключительно въ сторону тѣла *A*, если послѣднее прочно укрѣплено. Такъ всякій достаточно подвижный предметъ въ комнатѣ „притягивается“ къ стѣнѣ, если онъ будетъ связанъ со стѣною посредствомъ растянутой пружины.

Когда мы отодвигаемъ грузный предметъ, мы стараемся хорошенько упереться ногами, т. е. уменьшить подвижность нашего тѣла, и намъ тогда кажется, что дѣйствіе направлено только отъ насъ на предметъ. Но положимъ, что послѣдній лежитъ на землѣ, а мы стоимъ на скользкомъ льду или нахо-

[1] До какой степени результатъ удара зависитъ отъ свойствъ соударяющихся тѣлъ—это извѣстно каждому также изъ случаевъ удара твердыми предметами по нашему тѣлу или разныхъ частей нашего организма другъ о друга. Но сколь ни различны могутъ быть послѣдствія удара съ той и съ другой стороны, тѣмъ не менѣе самая возможность удара предполагаетъ, что есть по чему ударить, другими словами—что есть противодѣйствіе.

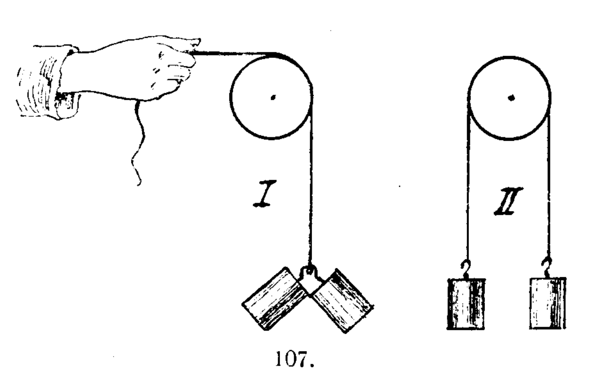
димся въ лодкѣ. Тогда при прежнемъ усиліи нашихъ мышцъ могло бы произойти какъ разъ обратное: наше тѣло отодвинулось бы отъ предмета. И т. п.

118. Но если бы даже движенію тѣлъ не представлялось никакихъ сопротивленій извнѣ, то все же подвижность ихъ была бы очень различна: она во всякомъ случаѣ зависитъ отъ количества вещества въ тѣлѣ. Мы здѣсь встрѣчаемся именно съ нѣкоторымъ особеннымъ противодѣйствіемъ, которое приводитъ насъ къ понятію о массѣ тѣла и къ оцѣнкѣ ея величины. Каждый знаетъ изъ собственнаго опыта, что сдвинуть большое, грузное тѣло трудно не только потому, что оно вслѣдствіе значительнаго вѣса сильно прижато къ полу или почвѣ. Треніе колесъ желѣзнодорожнаго вагона о рельсы настолько незначительно, что разъ сдвинутый съ мѣста нагруженный товарный вагонъ свободно продолжаетъ двигать одна лошадь, а пустой—даже одинъ человѣкъ. Но противодѣйствіе особенно замѣтно именно въ самомъ началѣ движенія, пока увеличивается скорость вагона. Сопротивленіе становится гораздо меньше при установившемся равномѣрномъ движеніи. Но затѣмъ всякое дальнѣйшее увеличеніе скорости требуетъ снова нѣкотораго особаго усилія. Пробуя двигать достаточно грузную повозку по полу или по ровной дорогѣ, каждый легко можетъ это провѣрить. — Сдвинуть лодку съ мѣста также гораздо труднѣе, чѣмъ поддерживать разъ сообщенную ей (небольшую) скорость, и каждая наша попытка увеличить скорость лодки встрѣчаетъ новое временное противодѣйствіе.—Ѣздящіе на велосипедѣ знаютъ, что нажимать на педали приходится сильнѣе вначалѣ и потомъ всякій разъ, когда надо увеличить скорость движенія.—Если, ухвативъ руками за средину длинную доску (скамью), поворачивать ее концами, то противодѣйствіе въ началѣ движенія особенно хорошо чувствуется. Такое же противодѣйствіе оказываетъ массивное маховое колесо вначалѣ движенія и при всякомъ новомъ увеличеніи его скорости.

Если тянуть повозку по гладкому пути при посредствѣ прикрѣпленныхъ къ ней пружинныхъ вѣсовъ, то какъ въ самомъ началѣ движенія, такъ и при всякомъ дальнѣйшемъ увеличеніи скорости, вѣсы покажутъ временное возрастаніе противодѣйствія.

Это въ бóльшей или меньшей степени можно конечно замѣтить на всякомъ тѣлѣ, если только внѣшнія условія не слишкомъ затрудняютъ его движеніе. То, чтó „сопротивляется“ или „противодѣйствуетъ“ переходу тѣла изъ покоя въ движеніе или, говоря вообще, измѣненію его движенія, и обозначается въ механикѣ словомъ масса.

Сопротивленіе въ подобныхъ случаяхъ мы слишкомъ привыкли приписывать „тяжести“ тѣла,— совсѣмъ упуская изъ виду, что напр. вѣсъ вагона вполнѣ уравновѣшенъ противодѣйствіемъ рельсовъ, а вѣсъ лодки — поддерживающимъ давленіемъ воды; всѣ части маховаго колеса также взаимно уравновѣшиваются. Кромѣ того, сопротивленіе, представляемое массою тѣла, появляется только при измѣненіи его движенія — обстоятельство, отъ котораго въ нашихъ случаяхъ вовсе не зависитъ вѣсъ. Разница въ сопротивленіяхъ, о которыхъ идетъ рѣчь, очень хорошо видна на слѣдующемъ примѣрѣ. Если привяжемъ двѣ фунтовыхъ гири къ веревкѣ, перекинемъ ее чрезъ блокъ и станемъ удерживать веревку, то рука наша будетъ испытывать противодѣйствіе вѣса гирь (рис. 107 I). Но, подвѣсивъ по отдѣльной фунтовой гирѣ къ двумъ концамъ перекинутой чрезъ блокъ веревки (II), мы конечно уравновѣсимъ вѣсъ одной гири вѣсомъ другой, и, приводя гири въ движеніе, мы будемъ имѣть дѣло уже съ сопротивленіемъ массы двухфунтоваго тѣла.



107.

Изъ двухъ тѣлъ одинаковаго матерьяла бóльшее по объему будетъ имѣть бóльшую массу и будетъ менѣе подвижно; въ случаѣ различнаго матерьяла то изъ тѣлъ, при одинаковомъ объемѣ, менѣе подвижно, т. е. имѣетъ бóльшую массу, матерьялъ котораго плотнѣе, напр. масса свинцоваго шара больше, чѣмъ равнаго ему костяного.

119. Теперь представимъ себѣ, что растянутая пружина

связываетъ между собою двѣ стоящія на рельсахъ одинаковыя повозки съ различной нагрузкой: если отпустить ихъ, то менѣе нагруженная пріобрѣтетъ бо́льшую скорость. Если разница въ массахъ велика, то скорость бо́льшей массы можетъ оказаться очень незначительной. Пусть оба тѣла имѣютъ столь различную массу, что движеніе болѣе массивнаго совершенно незамѣтно: намъ конечно покажется, что дѣйствіе направлено только въ сторону бо́льшей массы. Дѣло тогда происходитъ почти такъ, какъ будто одно изъ тѣлъ было неподвижно связано съ землею.—Превосходнымъ примѣромъ можетъ еще служить движеніе двухъ лодокъ, притягиваемыхъ одна къ другой посредствомъ веревки. Двѣ одинаковыхъ и одинаково нагруженныхъ лодки будутъ сближаться съ равными скоростями; чѣмъ болѣе различны массы лодокъ, тѣмъ различнѣе будутъ ихъ скорости; если представимъ себѣ наконецъ вмѣсто одной изъ лодокъ грузную барку, то послѣдняя окажется по отношенію къ первой почти что въ роли неподвижнаго предмета. Если человѣкъ, тянущій за веревку, стоитъ на баркѣ, то дѣло представляется такъ, какъ будто онъ тянетъ только лодку; если же онъ находится на лодкѣ, то онъ какъ бы притягивается къ баркѣ. Движеніе барки въ обоихъ случаяхъ нами совершенно упускается изъ виду.

Возьмемъ еще два одинаковой величины бруска: одинъ изъ намагниченной стали, другой — желѣзный. Положимъ ихъ на два одинаковыхъ поплавка и пустимъ на воду въ небольшомъ разстояніи концами одинъ противъ другого. Наблюдая за ихъ взаимнымъ сближеніемъ, мы увидимъ, что движеніе одного ничѣмъ не отличается отъ движенія другого. Но если повторимъ опытъ, помѣстивъ одинъ изъ брусковъ—все равно какой—на поплавокъ болѣе массивный, то послѣдній будетъ двигаться медленнѣе другого. Сдѣлать одну изъ взятыхъ массъ во много разъ больше другой значитъ почти то же, что укрѣпить первую неподвижно: къ неподвижному магниту будетъ приближаться желѣзо, а къ неподвижному желѣзному бруску будетъ точно также приближаться магнитъ.

Давленіе пороховыхъ газовъ, выбрасывающее съ большою скоростью пулю или артиллерійскій снарядъ, гораздо меньше отзывается на орудіи („отдача“), потому что его масса во много разъ превышаетъ массу пули или снаряда. Если орудіе установлено неподвижно, то давленіе пороховыхъ газовъ въ его сторону можетъ вовсе ускользнуть отъ нашего вниманія.

120. Какъ и во всѣхъ остальныхъ случаяхъ, противодѣйствіе массы, приводимой въ движеніе, тѣмъ сильнѣе, чѣмъ сильнѣе дѣйствіе, т. е. чѣмъ быстрѣе совершается переходъ изъ покоя въ движеніе,—чѣмъ быстрѣе возрастаетъ скорость. Поэтому оно можетъ выразиться очень рѣзкими явленіями въ особенности при сильномъ кратковременномъ взаимодѣйствіи тѣлъ — ударѣ и т. п. Подвѣсимъ какой нибудь металлическій шарикъ или гирьку на длинномъ шнуркѣ (напр. къ потолку): тогда отклоненіе подвѣска немного въ сторону отъ положенія равновѣсія будетъ лишь едва затруднено дѣйствіемъ тяжести. Однако, ударивъ по подвѣску, мы почувствуемъ съ его стороны тѣмъ болѣе сильное противодѣйствіе, чѣмъ значительнѣе было наше усиліе; не мудрено и ранить руку при достаточномъ взмахѣ. Если бы наша рука могла двигаться со скоростью ружейной пули, то дѣйствіе удара руки о подвѣсокъ едва ли отличалось бы отъ дѣйствія на нее летящей пули, и конечно даже доска была бы пробита при такой скорости ударомъ о подвѣсокъ. Привязавъ къ подвѣску нить и быстро дернувъ ее рукою въ сторону, мы можемъ порвать даже крѣпкую нить. Если концы какой нибудь палки укрѣпимъ очень непрочно (напр. положимъ палку концами на двѣ стеклянныхъ трубки, зажатыя въ штативахъ, или подвѣсимъ ее за концы на тонкихъ ниткахъ), то тѣмъ не менѣе сильнымъ ударомъ по ней другой палки намъ удастся перешибить одну изъ нихъ. Того же можно достичь, какъ конечно знаетъ каждый, ударивъ со всего размаха палкой по другой, подброшенной въ воздухъ. Въ обоихъ случаяхъ (особенно въ послѣднемъ) движеніе той палки, по которой мы ударяемъ, очень мало стѣснено внѣшними условіями, и въ явленіяхъ удара наглядно сказывается противодѣйствіе массы тѣла. — Противодѣйствіемъ массы въ моментъ удара пользуется и плотникъ, когда ударами по противоположному концу топорища насаживаетъ на него топоръ.

121. Мы конечно никогда не кончили бы, если бы захотѣли собрать всѣ случаи механическаго взаимодѣйствія

тѣлъ. Всякое механическое дѣйствіе есть взаимодѣйствіе, и дѣйствіе тѣла A на другое, B, всегда равно противоположному (встрѣчному) дѣйствію B на A.

Теперь положимъ, что мы имѣемъ два механически взаимодѣйствующихъ тѣла A и B, и что наше вниманіе останавливается сперва только на одномъ изъ нихъ, напр. на A: тогда мы скажемъ, что на него дѣйствуетъ сила со стороны другого, B; тѣло B будетъ „дѣйствующимъ“, а тѣло A „подверженнымъ“ его дѣйствію. Если же насъ интересуетъ то, чтó происходитъ съ тѣломъ B,—мы скажемъ наоборотъ, что на B дѣйствуетъ точно такая же сила со стороны A, и тогда тѣло A будетъ дѣйствующимъ, а B подверженнымъ его дѣйствію [1].

Тѣ движенія, которыя мы сами производимъ въ другихъ предметахъ, сопровождаются столь привычнымъ для насъ ощущеніемъ усилія или силы, что мы сроднились съ понятіемъ о силѣ и склонны переносить его и на явленія неживой природы. Хотя этимъ конечно нисколько не „уясняется“ дѣйствіе одного тѣла на другое, тѣмъ не менѣе для изслѣдованія взаимной зависимости явленій механическое понятіе о силѣ оказывается во множествѣ случаевъ очень полезнымъ.

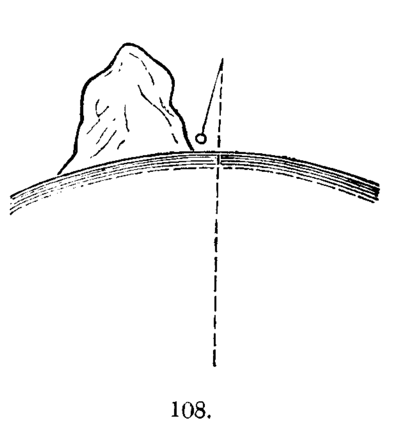
Обратимся теперь снова къ силѣ тяжести.

О всеобщемъ тяготѣніи.

122. Притяженіе, сказывающееся тяжестью тѣлъ, существуетъ не только между землею и земными предметами. Всѣ тѣла взаимно притягиваются. Правда, между тѣлами, находящимися напр. на полу или на столѣ, мы не замѣчаемъ никакого стремленія сближаться. Но этому мѣшаетъ сравнительно очень большое треніе ихъ о полъ или

[1] Быть можетъ полезно замѣтить, что дѣйствіе тѣла A на B такъ же неотдѣлимо отъ дѣйствія B на A, какъ напр. при покупкѣ чего нибудь расходъ съ одной стороны неотдѣлимъ отъ прихода — и при томъ равнаго — съ другой: одинъ и тотъ же процессъ есть обмѣнъ денегъ на вещь и вещи на деньги, смотря по тому, съ какой стороны на него взглянуть. Говорятъ: „палка — о двухъ концахъ“; но дѣйствіе и противодѣйствіе (встрѣчное дѣйствіе) точно также неотдѣлимы другъ отъ друга, какъ въ нашемъ представленіи—оба конца палки.

поверхность стола, неизбѣжно связанное съ тѣмъ давленіемъ, которое производится ими внизъ вслѣдствіе тяжести. Если въ достаточной мѣрѣ ослабить препятствія къ движенію, то тѣла будутъ сближаться. Напримѣръ, если на очень чувствительныхъ вѣсахъ (нарочно устраиваемыхъ для подобныхъ изслѣдованій) тщательно уравновѣсить два груза, а потомъ подъ одною изъ чашекъ помѣстить массивный предметъ, то эта чашка замѣтно перевѣшиваетъ. Производя подобные опыты съ очень большими массами, измѣрили и самую величину притяженія. Примѣнялись и другіе пріемы. Изъ нихъ слѣдующій особенно интересенъ въ томъ отношеніи, что вноситъ маленькую поправку, касающуюся направленія отвѣса (гл. III). Найдено именно, что по близости горъ отвѣсъ немного уклоняется въ сторону горы (см. рис. 108, на которомъ величина отклоненія представлена для ясности во много разъ больше дѣйствительной).


108.

123. Два тѣла притягиваются другъ къ другу тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше ихъ „масса“,—т. е. чѣмъ больше вещества содержится въ каждомъ изъ нихъ,—и чѣмъ меньше разстояніе. Притяженіе между земными предметами во всякомъ случаѣ очень мало сравнительно съ притяженіемъ между ними и землею, и нелегко было замѣтить его существованіе, а тѣмъ болѣе—измѣрить его величину.

Тѣла „вѣсятъ“ не только на землѣ, но конечно и на другихъ небесныхъ тѣлахъ; однако вѣсъ одного и того же тѣла на нихъ будетъ очень различенъ — смотря по ихъ массѣ и размѣрамъ. Вычислено, что напр. на солнцѣ наша фунтовая гиря производила бы на подставку такое давленіе, какъ тѣло, вѣсящее на землѣ 27 или 28 фунтовъ; человѣкъ, при той крѣпости частей тѣла, какою онъ обладаетъ, былъ бы на солнцѣ раздавленъ собственнымъ вѣсомъ. — На лунѣ тѣла вѣсятъ въ 6 разъ меньше, чѣмъ на землѣ.

Притяженіе существуетъ какъ между землею и луною (на разстояніи 360000 верстъ), такъ и между солнцемъ и

планетами; къ числу послѣднихъ, какъ извѣстно, относится и земля, обращающаяся вокругъ солнца въ 140 милліонахъ верстъ разстоянія отъ него. Съ удаленіемъ тѣлъ притяженіе между ними быстро убываетъ; но оно вѣроятно не ограничено никакими разстояніями. Когда массы очень велики, взаимное притяженіе ихъ даже на большихъ разстояніяхъ, каковы напр. разстоянія планетъ отъ солнца, еще очень значительно.

124. Притяженіе тѣлъ взаимно: тѣло A притягиваетъ другое B постольку, поскольку само имъ притягивается. Но если дать имъ сближаться подъ дѣйствіемъ взаимнаго притяженія, то тѣло бо́льшей массы будетъ двигаться медленнѣе. Если тѣло A во много разъ массивнѣе B, то движеніе A можетъ стать совершенно незамѣтнымъ, и намъ покажется, что притяженіе направлено только въ сторону перваго. Таковъ именно случай притяженія между землею и находящимися близъ нея предметами. Когда камень, падая, движется по направленію къ землѣ, то, строго говоря, и земля движется по направленію къ камню. Но такъ какъ масса земли во многое множество разъ больше массы камня, то перемѣщеніе земли, практически говоря, сводится къ нулю (его впрочемъ нетрудно вычислить). Притяженіе кажется намъ направленнымъ только въ сторону земли.

Стремленіе сближаться, свойственное каждымъ двумъ тѣламъ, каждымъ двумъ малѣйшимъ вещественнымъ частичкамъ, называется всеобщимъ тяготѣніемъ тѣлъ. Надо имѣть въ виду, что сила его нисколько не зависитъ отъ различій матерьяла или вещества тѣлъ, а только отъ ихъ массы и разстоянія. Въ этомъ отношеніи всеобщее притяженіе существенно отличается напр. отъ магнитнаго, которое сравнительно сильно сказывается лишь на нѣсколькихъ веществахъ, главнымъ образомъ желѣзѣ.

Мы видимъ, что притяженіе между землею и земными предметами, проявляющееся вѣсомостью тѣлъ, есть лишь частный случай всеобщаго тяготѣнія.

Всеобщее тяготѣніе на огромныхъ разстояніяхъ небеснаго пространства повело бы насъ въ область астрономіи, изучающей движенія и взаимныя отношенія небесныхъ тѣлъ.

Но и между мельчайшими частицами тѣла существуютъ нѣкоторыя взаимодѣйствія, отъ которыхъ въ значительной мѣрѣ зависитъ то, будетъ ли тѣло твердымъ, жидкимъ или газообразнымъ. Къ этому мы и обратимся въ слѣдующей главѣ.

VIII.

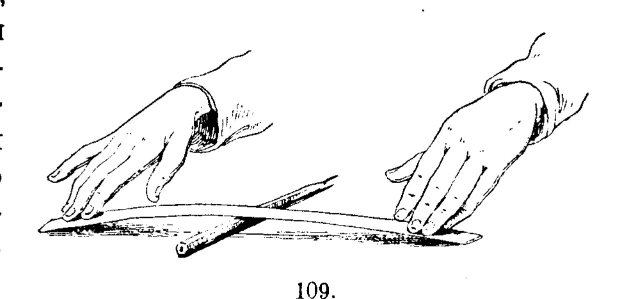
О твердыхъ, жидкихъ и газообразныхъ тѣлахъ (сравнительная характеристика).

Измѣняемость формы и упругость твердыхъ тѣлъ. „Частичныя" взаимодѣйствія.

125*. Въ гл. II были даны предварительныя свѣдѣнія о трехъ главныхъ группахъ физическихъ тѣлъ, необходимыя на первый случай. Теперь мы дополнимъ эту краткую характеристику нѣкоторыми подробностями.

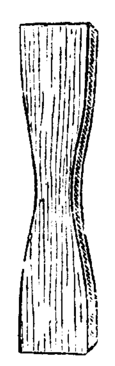
Выше было сказано, что твердыя тѣла отличаются самостоятельностью формы, тогда какъ жидкости подъ дѣйствіемъ тяжести принимаютъ случайную форму, зависящую отъ вида вмѣстилища.

Но, прилагая большее или меньшее усиліе, можно измѣнять форму многихъ твердыхъ тѣлъ: сгибать, сдавливать, растягивать, скручивать ихъ. Одни выдерживаютъ значительное измѣненіе формы, другія (хрупкія) легко ломаются. Нѣкоторыя очень хрупкія тѣла повидимому совсѣмъ не могутъ мѣнять своей формы. Гибко-ли напр. стекло? Сперва кажется, что нѣтъ. Но если взять длинную узкую полоску оконнаго стекла (или длинную тонкую стеклянную трубку), то легко замѣтить, что и стекло



109.

гнется (рис. 109). Изъ стекла легко изготовляются пленки и нити, которыя по способности измѣнять форму при сгибаніи и пр. не уступаютъ многимъ „гибкимъ“ тѣламъ. — Достаточно сильною тягою можно разорвать толстый стальной стержень (что именно и производится напр. при испытаніи крѣпости стали); при этомъ стержень, прежде чѣмъ разорваться, замѣчательно измѣняется въ формѣ: онъ растягивается въ длину и въ то же время суживается поперекъ (рис. 110), какъ кусокъ хлѣбнаго мякиша или тѣста, растягиваемый руками.—Медленныя, но весьма замѣтныя измѣненія формы могутъ происходить и въ хрупкихъ тѣлахъ подъ дѣйствіемъ собственнаго вѣса. Напр. палочка сургуча мало-по-малу изгибается, если оставить ее лежать подпертою съ двухъ концовъ [1]; то же самое бываетъ, хотя въ гораздо меньшей степени, со стеклянной палочкой или трубкой [2]. Ледъ такъ называемыхъ глетчеровъ, или горныхъ ледниковъ, подъ давленіемъ собственной тяжести „течетъ“ подобно рѣкѣ, медленно спускаясь съ горныхъ высотъ въ долины. — Многія твердыя тѣла, будучи подвергнуты очень сильному давленію съ помощью прессовъ, текутъ такъ, какъ текутъ жидкости подъ дѣйствіемъ собственной тяжести. Тщательное наблюденіе показываетъ, что всѣ твердыя тѣла въ большей или меньшей степени податливы.


110.

126*. То обстоятельство, что твердыя тѣла оказываютъ большее или меньшее сопротивленіе причинамъ, стремящимся разъединить ихъ частицы (§ 29) или измѣнить ихъ относительное расположеніе, заставляетъ предполагать, что между частицами существуютъ нѣкоторыя взаимодѣйствія; они называются частичными взаимодѣйствіями или частичными силами. Въ частности причина, удерживающая частицы одну около другой, — связывающая ихъ

[1] Сапожный варъ легко разбивается на куски; но если какую нибудь вещь оставить лежать на поверхности вара, то она мало-помалу погружается въ него, какъ въ густую жидкость.

[2] Большія оптическія стекла (объективы) астрономическихъ трубъ, какъ давно замѣчено, измѣняютъ свою правильную сферическую форму, если долгое время лежатъ въ косомъ положеніи.

въ одно цѣлое,—называется силою частичнаго сцѣпленія или просто „частичнымъ сцѣпленіемъ“.

Частичное сцѣпленіе проявляется только на чрезвычайно малыхъ разстояніяхъ. Два куска сломаннаго предмета обыкновенно не соединяются въ одно цѣлое при складываніи: малѣйшія неровности или мелкія посторонніяя тѣла (пылинки) мѣшаютъ этому. Но уже при надавливаніи, куски нѣкоторыхъ „мягкихъ“ тѣлъ, напр. воска, каучука, свинца, легко сращиваются въ одно цѣлое, особенно, если соприкасаются чистыми поверхностями. Два куска желѣза, размягченнаго нагрѣваніемъ въ кузнечномъ горну, подъ ударами молота соединяются въ сплошную массу („свариваются“).—Порошки (опилки) многихъ металловъ при сильномъ давленіи образуютъ сплошные куски. Сильнымъ сдавливаніемъ древесныхъ опилокъ удается получить изъ нихъ прочный твердый кусокъ. То же самое происходитъ при достаточныхъ давленіяхъ со множествомъ тѣлъ, и этимъ часто пользуются на практикѣ для полученія сплошныхъ массъ прессовкою или проковкою.

Тѣсному сближенію соприкасающихся поверхностей способствуетъ ихъ полировка. Дѣйствительно, два тѣла съ очень тщательно отполированными плоскостями (напр. зеркала) могутъ при легкомъ надавливаніи крѣпко пристать другъ къ другу.

Наконецъ твердыя тѣла можно соединить въ одно цѣлое, помѣщая между ними жидкость, затвердѣвающую при охлажденіи или высыхающую. Жидкость, заполняя мелкія неровности, тѣсно соприкасается съ обѣими поверхностями и при затвердѣваніи связываетъ ихъ между собою. На этомъ основаны пріемы спайки металловъ (напр. всѣмъ извѣстное паяніе оловомъ) и склеиваніе.

127*. Въ твердомъ тѣлѣ частичныя взаимодѣйствія проявляются между прочимъ тѣмъ, что по устраненіи причины, измѣнившей форму, тѣло болѣе или менѣе возстановляетъ ее само собою; то же можно сказать и про объемъ тѣла, измѣненный внѣшнимъ дѣйствіемъ. Это свойство называютъ упругостью — различая „упругость формы“ и „объемную упругость“, смотря по тому, идетъ ли рѣчь объ измѣненіи формы или объема. Всѣмъ извѣстна упругость стальной пружины. Тонкая стеклянная полоска (или трубка)

послѣ легкаго сгибанія выпрямляется; значитъ и она упруга. Отскакиваніе двухъ стеклянныхъ шариковъ послѣ удара есть именно слѣдствіе упругости стекла. Въ моментъ удара шарики нѣсколько сплющиваются; возстановляя тотчасъ же свою форму, они отталкиваются другъ отъ друга. Измѣненіе формы въ моментъ удара можно въ подобныхъ случаяхъ наглядно обнаружить такъ. Закоптимъ толстую стеклянную пластинку и уронимъ на закопченое мѣсто стеклянный шарикъ: онъ оставитъ слѣдъ въ видѣ кружка весьма замѣтныхъ размѣровъ, а не точки, что было бы, если бы форма ударяющихся тѣлъ оставалась неизмѣнною.—Свинецъ, воскъ и т. п. тѣла повидимому неупруги; но при внимательномъ наблюденіи можно замѣтить, что и они не совсѣмъ лишены способности возстановлять свою форму. — Упругость свойственна въ большей или меньшей степени всѣмъ твердымъ тѣламъ.

128. Частичныя взаимодѣйствія лишь въ сравнительно рѣдкихъ случаяхъ одинаковы по всѣмъ направленіямъ, какія можно представить себѣ внутри твердаго тѣла. Различіе сцѣпленія особенно ясно проявляется въ тѣлахъ кристаллическихъ, т. е. такихъ, которыя способны при извѣстныхъ условіяхъ принимать сами собою опредѣленныя многогранныя формы. Напр. прочность кристалла въ разныхъ направленіяхъ можетъ быть очень различна, такъ что кристаллъ легче всего раскалывается по нѣкоторымъ опредѣленнымъ направленіямъ (каменная соль), обнаруживая иногда какъ бы слоистое сложеніе (слюда, гипсъ). Эта особенность въ частичномъ сцѣпленіи сопровождается многими другими особенностями кристалловъ сравнительно съ тѣлами некристаллическими.

129. Отъ различныхъ причинъ частичныя взаимодѣйствія во многихъ твердыхъ тѣлахъ могутъ измѣняться, что сказывается измѣненіемъ нѣкоторыхъ свойствъ, напр. плотности, твердости, прочности и т. п. Замѣчательно различныя свойства пріобрѣтаетъ сталь, смотря по тому, какъ охлаждать ее послѣ болѣе или менѣе сильнаго нагрѣванія. Медленно охлажденная сталь мягка, какъ желѣзо, и въ этомъ видѣ („отожженая сталь“) легко поддается обработкѣ инструментами; при быстромъ же охлажденіи она дѣлается очень твердою и хрупкою („закаленная сталь“). Нѣчто подобное замѣчается, хотя и менѣе рѣзко, у многихъ другихъ металловъ, напр. у обыкновеннаго продажнаго желѣза. Стекло также подвергается закалкѣ и тогда пріобрѣтаетъ очень

любопытныя особенности. Оно дѣлается болѣе твердымъ и болѣе прочнымъ, такъ что сдѣланная изъ него вещь (такъ называемая небьющаяся стеклянная посуда) можетъ выдерживать порядочные толчки, не разбиваясь; тѣмъ не менѣе отъ малѣйшей царапины или другихъ (трудно уловимыхъ) причинъ она иногда съ трескомъ распадается на мелкія части. Капля расплавленнаго и быстро охлажденнаго водою стекла представляетъ тѣло настолько прочное, что выдерживаетъ удары молотка по своей утолщенной части; но вся масса мгновенно превращается въ порошокъ, если отломить конецъ имѣющагося у капли хвостика (рис. 111). Явленіе сопровождается сильнымъ трескомъ, какъ бы взрывомъ; если опытъ производить въ стаканѣ съ водою, то стаканъ нерѣдко разбивается силою взрыва. Подобные примѣры указываютъ на существованіе сильныхъ внутреннихъ натяженій въ закаленныхъ тѣлахъ.

111.

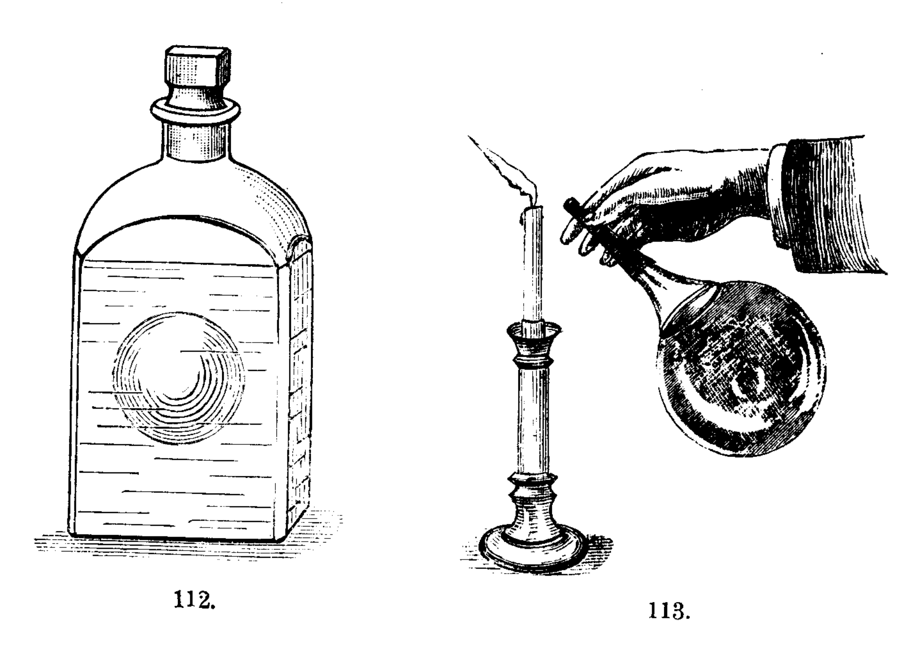
Формы и частичное сцѣпленіе жидкостей.

130. Жидкая масса принимаетъ форму близкую къ шаровой всякій разъ, когда достаточно ослаблены причины, которыя обыкновенно этому мѣшаютъ: тяжесть и „прилипаніе“ жидкости къ другимъ тѣламъ. Малое количество жидкости, образующее каплю, принимаетъ форму шарика, благодаря незначительному вѣсу капли, но при условіи, чтобы жидкость ни къ чему не прилипала (не приставала). Поэтому вода образуетъ шаровидныя капли на промасленной бумагѣ или на листьяхъ растеній, тогда какъ по чистому (вымытому спиртомъ) стеклу расплывается тонкимъ слоемъ. Напротивъ, ртуть не прилипаетъ къ чистому стеклу и принимаетъ на немъ форму шариковъ, но расплывается напр. по поверхности цинка или олова. — Чѣмъ меньше капля въ подобныхъ случаяхъ, тѣмъ точнѣе ея форма приближается къ шаровой.

Слѣдующій пріемъ позволяетъ получить бóльшія массы жидкости въ формѣ близкой къ шару. Прованское масло легче воды, но тяжелѣе виннаго спирта: поэтому изъ воды и спирта можно приготовить смѣсь, въ которой масло не будетъ ни тонуть, ни всплывать. Въ такой смѣси масло

какъ бы теряетъ свой вѣсъ, и значительное его количество, осторожно введенное внутрь смѣси, принимаетъ шарообразную форму. (Опытъ Плато́, см. рис. 112).

131. На существованіе частичнаго сцѣпленія въ жидкостяхъ указываютъ уже предыдущія явленія, хотя бы образованіе капель—этихъ жидкихъ тѣлецъ, частицы которыхъ, вопреки тяжести, заставляющей ихъ растекаться, образуютъ собою связное цѣлое. Двѣ водяныхъ или двѣ ртутныхъ капли, коснувшись одна другой, быстро сливаются въ одну. Изъ того, что частицы жидкости очень подвижны,—



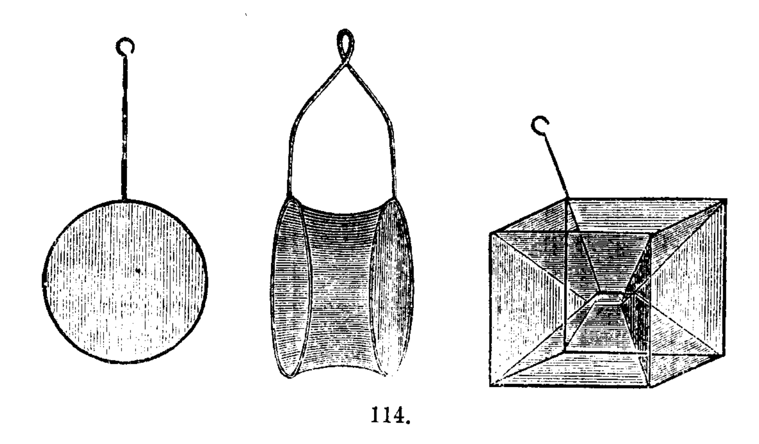
112. 113.

что онѣ легко скользятъ одна около другой,—было бы неправильно заключать объ отсутствіи у нихъ всякихъ частичныхъ взаимодѣйствій. Чтобы оторвать частички жидкости другъ отъ друга, нужна нѣкоторая сила, величина которой, какъ доказано опытами, можетъ быть довольно значительна.

Очень любопытными явленіями обнаруживается частичное сцѣпленіе жидкостей въ такъ называемыхъ жидкихъ пленкахъ. Кому не извѣстны мыльные пузыри? Оболочка мыльнаго пузыря состоитъ изъ тончайшей водяной пленки (прибавка къ водѣ мыла облегчаетъ ея образованіе), которая находится въ состояніи весьма замѣтнаго натяженія. Она

походитъ на растянутую оболочку тонкаго резиноваго шара: подобно послѣдней, оболочка мыльнаго пузыря стремится сократиться и сжимаетъ содержащійся внутри нея воздухъ. Если, выдувъ мыльный пузырь на одномъ концѣ трубки съ воронкообразнымъ расширеніемъ, приблизимъ свободный конецъ трубки къ пламени свѣчи (рис. 113), то замѣтимъ по отклоненію пламени, что изъ отверстія выталкивается струя воздуха.

Жидкія пленки можно получать и плоскими, и разнообразно искривленными, давая имъ образовываться на проволочныхъ остовахъ надлежащей формы (см. рис. 114); и всякая такая пленка,



114.

подобно растянутой резиновой, находится въ состояніи натяженія, стремясь сократиться до наименьшей поверхности, какая возможна при данныхъ условіяхъ. Полагаютъ, что въ подобномъ же состояніи натяженія находится тонкій поверхностный слой всякой жидкой массы; поэтому-то жидкая масса, предоставленная дѣйствію однѣхъ внутреннихъ (междучастичныхъ) силъ, принимаетъ такую же форму, какъ мыльный пузырь, т. е. форму шара: это именно форма, при которой тѣло даннаго объема имѣетъ наименьшую поверхность.

132. О сжимаемости и упругости жидкостей. Упругость есть свойство тѣла возстановлять свой объемъ или свою форму по устраненіи измѣнившей ихъ причины. Упруги ли жидкости? Выше (§ 25) было уже упомянуто, что всѣ тѣла сжимаемы, т. е. уменьшаются въ объемѣ отъ сдавливанія,—хотя и въ очень различной степени. Жидкости (какъ и твердыя тѣла) очень мало сжимаемы; другими словами, онѣ оказываютъ очень большое противодѣй-

ствіе уменьшенію ихъ объема. Вода напр. при увеличеніи давленія на одну атмосферу (см. § 71), т. е. вдвое противъ обыкновеннаго, уменьшается въ объемѣ всего на 1/20000, тогда какъ объемъ воздуха (или другого газа) сдѣлался бы при этомъ вдвое меньше первоначальнаго. Опытъ показываетъ, что по устраненіи давленія жидкость вполнѣ возвращается къ своему первоначальному объему. Итакъ объемная упругость свойственна и жидкостямъ. Что же касается „упругости формы“, то въ жидкостяхъ она очень мала.

Отсутствіе рѣзкой границы между жидкостями и твердыми тѣлами.

133. Изъ предыдущаго мы видимъ, съ одной стороны, что форма твердаго тѣла не есть нѣчто неизмѣнное, а съ другой—что самостоятельныхъ формъ не лишены и жидкости. На самомъ дѣлѣ различіе сводится къ тому, что твердыя тѣла представляютъ измѣненію формы болѣе или менѣе значительное сопротивленіе, а жидкости—ничтожное. Но при нѣкоторомъ вниманіи мы замѣтимъ, что между такими представителями твердыхъ тѣлъ, какъ стекло или желѣзо, и настоящими жидкостями, каковы вода, ртуть, существуетъ множество тѣлъ съ „промежуточными“ свойствами. Достаточно указать на тѣла болѣе или менѣе мягкія (свинецъ, воскъ), тѣстообразныя (тѣсто изъ муки или глины) и сиропообразныя (сахарные сиропы разной густоты, касторовое масло, глицеринъ). Слѣдовательно, съ одной стороны, мы наблюдаемъ въ твердыхъ тѣлахъ весьма различныя степени „твердости“, съ другой—жидкости въ очень различной степени „текучи“. Отсюда мы видимъ, какъ трудно провести границу между твердыми и жидкими тѣлами. Въ дѣйствительности рѣзкой границы между ними и не существуетъ.

Однако для обозрѣнія свойствъ физическихъ тѣлъ (въ дѣйствительности безконечно разнообразныхъ), особенно при элементарномъ знакомствѣ съ предметомъ, понятія о „твердомъ тѣлѣ“ и „жидкости“ очень полезны. Надо лишь помнить, что эти понятія условны. Здѣсь, какъ и вездѣ, наше вниманіе главнымъ образомъ останавливается на томъ, въ чемъ тѣ или другіе признаки выражены наиболѣе отчетливо.

Что общаго между жидкостью и газомъ?

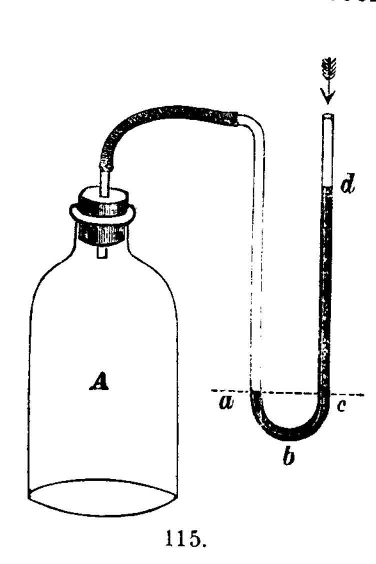
134. При всѣхъ различіяхъ, главное сходство между газомъ и жидкостью очевидно: это удобоподвижность частицъ. Отсюда общее свойство тѣхъ и другихъ—перемѣщаться или течь въ сторону наименьшаго давленія. Какъ въ жидкости, такъ и въ газѣ, всякое давленіе, производимое на ихъ поверхность (въ замкнутомъ со всѣхъ сторонъ сосудѣ), передается безразлично во всѣ стороны. Всесторонней передачей давленія, въ связи съ тяжестью и прямымъ ея слѣдствіемъ—давленіемъ верхнихъ слоевъ на нижніе, мы уже пользовались выше, выводя Архимедовъ законъ примѣнительно къ жидкостямъ и газамъ.

Газы; давленіе газа и манометрическій пріемъ его измѣренія.

135. Газъ отличается отъ жидкости тѣмъ, что не имѣетъ самостоятельнаго „объема“. Тогда какъ данное количество жидкости занимаетъ опредѣленный объемъ, который можетъ быть лишь весьма мало уменьшенъ сдавливаніемъ,—объемъ нѣкотораго количества газа можетъ измѣняться въ чрезвычайно широкихъ границахъ. Съ одной стороны, газъ, взятый при обыкновенныхъ условіяхъ, можетъ быть сжатъ усиленнымъ давленіемъ до объема во много разъ меньшаго, съ другой—онъ можетъ занять объемъ сколь угодно большой, если ему дана возможность расширяться (по крайней мѣрѣ до сихъ поръ не найдено предѣловъ этого расширенія). Такимъ образомъ выраженіе „объемъ газа“ есть нѣчто очень условное. Объемъ газа всегда равенъ вмѣстимости того замкнутаго пространства (напр. сосуда), въ которомъ газъ находится. Нельзя не прибавить еще, что объемъ даннаго количества газа можетъ весьма значительно измѣняться отъ измѣненія температуры. Такимъ образомъ, если по объему жидкаго или твердаго тѣла можно до нѣкоторой степени заключить о его „количествѣ“ (вѣсѣ, массѣ), то судить о количествѣ газа по его объему совершенно невозможно, если не сказано, подъ какимъ давленіемъ находится газъ и какова его температура.

Стремясь расширяться, газъ всегда производитъ большее или меньшее давленіе на стѣнки сосуда или вообще на оболочку, противодѣйствующую его расширенію. Объемъ газа конечно будетъ оставаться неизмѣннымъ тогда, когда это давленіе и внѣшнее противодѣйствіе взаимно уравновѣшиваются. (Пружина, сдавливаемая пудовымъ грузомъ, сжимается до тѣхъ поръ, пока ея давленіе на грузъ не возрастетъ до одного пуда). Поэтому выраженія „давленіе газа" и „давленіе, подъ которымъ газъ находится", употребляются одно вмѣсто другого.

136*. По объясненной выше причинѣ всегда важно, хотя бы приблизительно, знать давленіе газа. Въ гл. IV (§ 74) мы видѣли, какимъ образомъ судятъ о давленіи воздуха подъ колоколомъ воздушнаго насоса—или въ другомъ сообщенномъ съ насосомъ сосудѣ—по высотѣ поддерживаемаго этимъ давленіемъ ртутнаго столба. Этотъ манометрическій пріемъ очень часто примѣняется для измѣренія давленія.



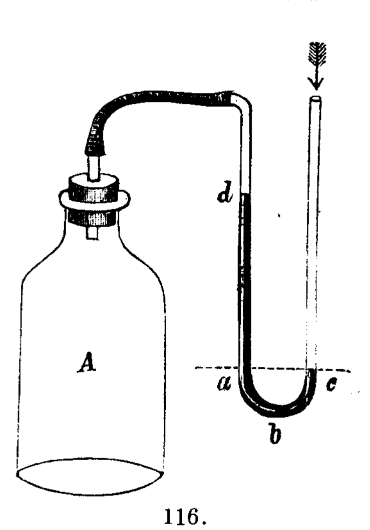
115.

Пусть сосудъ (*A* рис. 115), въ которомъ надо опредѣлить давленіе, напр. воздуха, сообщенъ съ двухъ-колѣнной стеклянной трубкой, содержащей ртуть. Разсмотримъ слѣдующіе три примѣра.

1) Если ртуть въ обоихъ колѣнахъ трубки стоитъ на одинаковой высотѣ (положимъ на уровнѣ *ac*), то воздухъ въ *A* очевидно сжатъ въ той же степени, какъ атмосферный (который давитъ на ртуть со стороны открытаго конца трубки). Слѣдов., если бы барометръ показывалъ 30 д. или 76 см., то мы сказали бы, что давленіе воздуха въ *A* само по себѣ можетъ поддержать столбъ ртути въ 30 д. или 76 см. высотою, или короче, что это давленіе равняется 30 дюймамъ (76 сантиметрамъ). Каждый квадр. дюймъ внутренней поверхности сосуда испытываетъ тогда давленіе въ $16^1/_3$ фунт. (каждый квадр. сантиметръ—давленіе въ 1 килогр. съ небольшимъ). Такое давленіе, какъ упомянуто выше, называется „нормальнымъ" или давленіемъ въ „одну атмосферу".

2) Положимъ, что ртуть въ открытомъ колѣнѣ нашего „манометра" стоитъ выше, чѣмъ въ томъ, которое сообщено съ сосудомъ (рис. 115); тогда давленіе воздуха въ *A* больше атмосфернаго. Насколько именно? Если по нижнему уровню (*a*) ртути проведемъ горизонтальную плоскость, то увидимъ, что избыточнымъ давленіемъ воздуха въ *A* поддерживается ртутный столбъ *cd* (ртуть же въ *abc* служитъ лишь для передачи давленія). Слѣдовательно давленіе въ сосудѣ *A* = атмосферному + давленіе ртутнаго столба *cd*. Если атмосферное давленіе равно 30 д., и ртутный столбъ *cd* тоже равняется 30 д., то давленіе воздуха въ *A* будетъ соотвѣтствовать ртутному столбу въ 60 д., или, какъ говорятъ, будетъ равно „двумъ атмосферамъ". Если бы разность уровней составляла 15 д., то давленіе воздуха въ *A* было бы равно 45 д., или $1^1/_2$ атмосферамъ. И т. п.

3) Наконецъ пусть ртуть въ открытомъ колѣнѣ стоитъ ниже, чѣмъ въ другомъ (рис. 116). Теперь атмосферное давленіе, дѣйствующее на ртуть со стороны открытаго колѣна, уравновѣшиваетъ собою давленіе воздуха въ сосудѣ *A* + давленіе ртутнаго столба *ad*; слѣдовательно давленіе воздуха въ *A* меньше атмосфернаго на величину давленія этого столба ртути. Положимъ, что разность уровней ртути = 12 д., а давленіе атмосферы нормальное (30 д.). Тогда давленіе воздуха въ *A* равно 30—12 или 18 дюйм.; слѣдовательно оно составляетъ $^{18}/_{30}$ или $^3/_5$ одной атмосферы. (Сколькимъ фунтамъ на кв. д. и килограммамъ на кв. см. соотвѣтствуетъ давленіе въ названныхъ выше случаяхъ?).



116.

Такимъ образомъ, измѣряя высоту ртутнаго столба, который поддерживается напоромъ газа, выражаютъ давленіе 1) или прямо высотою столба ртути—въ дюймахъ, сантиметрахъ, миллиметрахъ, 2) или въ фунтахъ на кв. дюймъ,

въ килограммахъ на кв. см., или наконецъ 3) въ атмосферахъ. Послѣдними двумя способами принято выражать напр. **давленіе пара** въ котлахъ паровыхъ машинъ. (На практикѣ обыкновенно употребляются манометры не ртутные, а такіе, дѣйствіе которыхъ основано на измѣненіи формы упругаго тѣла при перемѣнѣ давленія,—такъ сказать, пружинные манометры).

Давленіе газа находится въ тѣсной зависимости отъ того, **какой объемъ занимаетъ данное количество газа**: чѣмъ меньше объемъ, тѣмъ газъ давитъ сильнѣе, и наоборотъ. Газъ давитъ на стѣнки сосуда даже въ крайнихъ степеняхъ разрѣженія, какія еще могутъ быть достигнуты, хотя конечно тогда давленіе дѣлается столь малымъ, что замѣтить его, а тѣмъ болѣе измѣрить, бываетъ очень трудно.

О зависимости между объемомъ и давленіемъ газа.

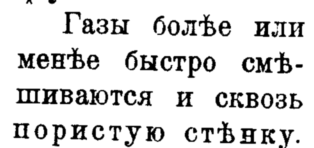
137*. Зависимость между объемомъ и давленіемъ газа можно—**съ извѣстными ограниченіями**—выразить слѣдующимъ простымъ образомъ. **Объемъ даннаго количества газа, при постоянной температурѣ, измѣняется въ обратномъ отношеніи къ давленію.** (**Законъ Бойля или Маріотта**). Напр. кубическій футъ воздуха, взятаго при давленіи въ 1 атмосферу, займетъ объемъ въ $\frac{1}{2}$ куб. фута при давленіи вдвое бо́льшемъ и 2 куб. ф. при давленіи вдвое меньшемъ. **Ограниченія** же состоятъ въ томъ, что: 1) разные газы слѣдуютъ названной простой зависимости съ бо́льшимъ или меньшимъ приближеніемъ, 2) уклоненія отъ нея неодинаковы при разныхъ давленіяхъ.

Зная, какъ измѣняется объемъ газа съ перемѣнами давленія, можно находить вычисленіемъ, какой объемъ займетъ газъ при нѣкоторомъ заданномъ давленіи, если извѣстенъ его объемъ при другомъ давленіи. Такъ напр. „приводятъ" объемъ газа къ „нормальному" давленію. Какимъ образомъ вводится въ разсчетъ температура газа, если она измѣняется,—объ этомъ будетъ сказано впослѣдствіи.

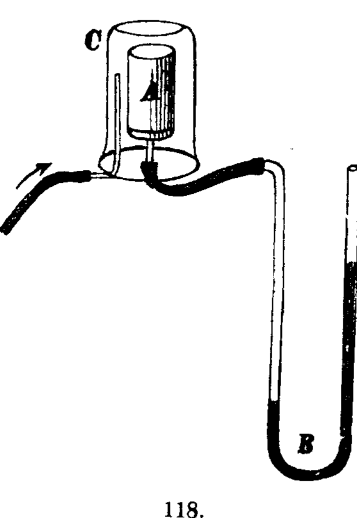
Взаимное проникновеніе и смѣшиваніе тѣлъ (диффузія).

138. Стремясь расширяться, **газы болѣе или менѣе быстро проникаютъ другъ въ друга**. Извѣстно, какъ легко распространяется въ воздухѣ какой-нибудь пахучій газъ. Этому, правда, очень способствуетъ постоянное

передвиженіе самого воздуха; но распространеніе одного газа въ другомъ происходитъ и само собою, безъ посторонняго перемѣшиванія. Напр., если наполнить газопріемный цилиндръ углекислымъ газомъ и опрокинуть надъ нимъ такой же цилиндръ съ воздухомъ (рис. 117), то по истеченіи нѣкотораго времени газы смѣшиваются, не смотря на то, что углекислый газъ, находившійся внизу, въ $1\frac{1}{2}$ раза тяжелѣе воздуха. Смѣшеніе произошло бы и въ томъ случаѣ, если бы верхній цилиндръ былъ наполненъ водородомъ, который въ 22 раза легче углекислаго газа. Такое самопроизвольное проникновеніе одного тѣла въ другое называется **диффузіей**.



117.



118.

Газы болѣе или менѣе быстро смѣшиваются и сквозь **пористую стѣнку**. Притомъ, чѣмъ газъ легче, тѣмъ быстрѣе онъ проникаетъ сквозь такую стѣнку; быстрѣе всѣхъ проникаетъ самый легкій изъ газовъ, водородъ. На этомъ основывается слѣдующій простой пріемъ наблюденія взаимной диффузіи воздуха и водорода.

Пористый стаканчикъ A изъ гипса или слабо обожженой глины соединяютъ, при помощи пробки и трубки, съ колѣнчатой стеклянной трубкой B, въ которой налита подкрашенная вода (рис. 118). Если накрыть пористый сосудъ стаканомъ C и ввести въ послѣдній трубку, по которой притекаетъ водородъ, то замѣчается быстрое поднятіе воды въ открытой вѣтви колѣнчатой трубки. Водородъ изъ стакана C проникаетъ въ пористый сосудъ A гораздо быстрѣе, нежели воздухъ выходитъ изъ него: отъ этого именно давленіе газа внутри пористаго сосуда увеличивается. Если теперь убрать

стаканъ C, то водородъ изъ пористаго сосуда будетъ выходить наружу быстрѣе, чѣмъ успѣваетъ входить въ него воздухъ; давленіе въ пористомъ сосудѣ уменьшается, и жидкость въ колѣнчатой трубкѣ будетъ передвинута въ обратную сторону. Вскорѣ затѣмъ давленіе внутри и внѣ пористаго сосуда выравняется вслѣдствіе проникновенія воздуха, и жидкость въ трубкѣ займетъ свое первоначальное положеніе.

Мы увидимъ ниже, что самый воздухъ есть смѣсь нѣсколькихъ газовъ. Проникая (диффундируя) другъ въ друга, они образуютъ весьма сложное цѣлое, имѣющее близъ земной поверхности повсюду почти одинаковый составъ.

Многія жидкости тоже способны взаимно диффундировать, т. е. проникать другъ въ друга и смѣшиваться въ одно цѣлое вопреки различіямъ въ плотности. Таковы напр. вода и винный спиртъ. Но диффузія жидкостей происходитъ гораздо медленнѣе, чѣмъ газовъ.

139. Замѣчательно, что подобное же явленіе, хотя происходящее еще гораздо медленнѣе, обнаружено въ нѣкоторыхъ случаяхъ и въ твердыхъ тѣлахъ. Такъ, если нѣкоторые металлы находятся долгое время въ тѣсномъ соприкосновеніи, то частицы одного проникаютъ на малую глубину внутрь другого. Вотъ новое свидѣтельство, что подвижность частицъ не есть исключительная принадлежность газовъ и жидкостей, а свойственна также твердымъ тѣламъ. Съ другой стороны, частичное сцѣпленіе не вполнѣ отсутствуетъ и въ газахъ, не смотря на ихъ стремленіе расширяться.

Сравненіе между собою твердыхъ, жидкихъ и газообразныхъ тѣлъ представляетъ намъ еще примѣръ того, какимъ образомъ изученіе открываетъ сходства тамъ, гдѣ обыденное наблюденіе видитъ только различіе.

---

125 и **126**. Въ нѣкоторыхъ опытахъ надъ дѣйствіемъ сильнаго давленія на твердыя тѣла послѣднее доводилось до 20000 атмосферъ. Выразить его въ килограммахъ и тоннахъ на кв. см., въ пудахъ на кв. дюймъ. (См. справочныя свѣдѣнія въ вопр. гл. IV, стр. 76). **127**.—Въ обиходной рѣчи нерѣдко называютъ тѣло „упругимъ“, если оно легко и значительно измѣняетъ форму

или объемъ отъ давленія. Правильно ли это? Назвали ли бы мы тѣло упругимъ, если бы оно по устраненіи давленія не возстановляло само собою (хотя бы приблизительно) прежней формы или прежняго объема?—Изъ чего видно, что волосъ, бумага, нитка упруги?—Не измѣняются ли нѣкоторыя тѣла въ отношеніи упругости, и при какихъ условіяхъ? (Размягченіе нѣкоторыхъ металловъ передъ плавленіемъ, размягченіе стекла; измѣненіе стали вслѣдствіе отжиганія и закаливанія).—**136. 1)** До сколькихъ приблиз. атмосферъ можно измѣрять давленіе открытымъ ртутнымъ манометромъ, установленнымъ при Эйфелевой башнѣ въ Парижѣ, если принять наибольшую высоту ртутнаго столба въ трубкѣ равною 300 метрамъ?—**2)** Съ силою сколькихъ килогр. на кв. см. и пудовъ на кв. дюймъ давитъ паръ на стѣнки въ котлѣ паровоза, если манометръ показываетъ 12 атмосферъ? *Отв.* $\frac{16^{1}/_{3}.12}{40} = 4{,}9$ пуд. / кв. д.—**3)** Выразить *въ атмосферахъ* давленіе на почву кирпичной стѣны въ 20 м. (около 10 саж.) высоты, принявъ относ. плотн. кирпичной кладки = 2. *Отв.* Давленіе 20-метр. стѣны соотвѣтствуетъ давленію 40-метр. водяного столба, т. е. приблиз. 4 атмосферамъ. (Сравн. съ давленіемъ пара въ паровомъ котлѣ, пред. вопр.).—**4)** Выразить въ тон. / кв. см. и въ пуд. / кв. д. давленіе пороховыхъ газовъ, выбрасывающихъ артиллерійскій снарядъ изъ большого орудія, принявъ ихъ давленіе въ 3000 атмосферъ.—**5)** Почему, выражая давленіе въ „атмосферахъ“, не прибавляютъ: на такую то площадь, какъ это непремѣнно слѣдуетъ дѣлать, когда то же давленіе выражаютъ съ помощью вѣсовыхъ единицъ (фунтовъ, килограммовъ)?—**6)** Въ чемъ отличіе между упругостью газа и упругостью пружины? (См. §§ 127 и 135).—**137**. *Замѣч.* Во всѣхъ нижеслѣдующихъ вопросахъ температура газа предполагается неизмѣнною.—**1)** Если нѣкоторое количество воздуха занимаетъ 1 куб. метръ при нормальномъ давленіи, то какой объемъ оно займетъ при давленіяхъ въ 2, въ 3 атмосферы? Въ $^1/_2$, въ $^1/_4$ атм.?—**2)** Пусть нѣкоторое количество воздуха занимаетъ объемъ въ 37 *литровъ* (см. § 24) при барометрическомъ давленіи въ 780 мм. Каковъ будетъ объемъ воздуха при давленіи 740 мм.? При нормальномъ давленіи? *Отв.* Объемъ при давленіи въ 740 мм. будетъ *во столько разъ больше* 37 литровъ, во сколько 740 *меньше* 780-ти, т. е. онъ будетъ $= 37 . \frac{780}{740} = 39$ литр. (Измѣненія барометр. давленія въ предѣлахъ 740 и 780 мм. нерѣдко наблюдаются напр. въ Петербургѣ). При норм. давленіи объемъ = почти точно 38 литр.—**3)** Сосудъ наполненъ газомъ при атмосферн. давленіи въ 800 мм. Какая доля газа выйдетъ изъ сосуда, если внѣшнее давленіе уменьшится до 400 мм.? (Такое атм. давленіе возможно напр. на вершинѣ Монблана).—**4)** О „плотности“ газа судятъ по количеству (обыкновенно вѣсу) его въ единицѣ объема. Если подвергать воздухъ разнымъ давленіямъ, то въ какомъ отношеніи къ давленію

будетъ измѣняться плотность воздуха?—**5)** Водородъ въ $14^1/_2$ разъ легче, а углекислый газъ въ $1^1/_2$ раза тяжелѣе равнаго объема воздуха подъ одинаковымъ давленіемъ. При сколькихъ атмосферахъ давленія плотность этихъ газовъ будетъ равна плотности воздуха, взятаго подъ нормальнымъ давленіемъ?—При какомъ давленіи плотность водорода сравняется съ плотностью углекислаго газа, взятаго при нормальномъ давленіи? *Отв.* При давленіи около 22 атмосферъ. (На вопросы вродѣ послѣдняго можно отвѣтить лишь приблизительно, такъ какъ отступленія отъ закона Бойля могутъ быть довольно замѣтными при большихъ давленіяхъ).—**6)** Во сколько примѣрно разъ плотность воздуха на высотѣ 50 верстъ надъ уровнемъ моря меньше плотности окружающаго насъ воздуха, если, согласно вычисленіямъ, давленіе на такой высотѣ приблиз. въ 1000 разъ меньше нормальнаго?—**7)** Нѣкоторое количество воздуха занимаетъ объемъ A при давленіи въ 1 атмосферу. Какъ великъ будетъ его объемъ при давленіи въ 2, въ 3 атм.? въ $^1/_2$, $^1/_4$ атм.? Каково во всѣхъ этихъ случаяхъ ***произведеніе*** чиселъ, которыми выражается ***объемъ*** воздуха и соотвѣтствующее ему ***давленіе?***—Положимъ, что нѣкоторое количество газа, объемъ котораго обозначимъ буквою v, а давленіе p, подвергнуто ***большему*** давленію p'; выписавъ пропорцію согласно закону Бойля, найти величину объема x при новомъ давленіи. *Отв.* $x:v=p:p'$, откуда $x=\frac{pv}{p'}$.— Найти объемъ газа, если новое давленіе p' ***меньше*** p. *Отв.* Пропорція и буквенный отвѣтъ тѣ же самые, но въ первомъ случаѣ, когда давленіе $p'>p$, объемъ x выйдетъ меньше даннаго объема v, а во второмъ $(p'<p)$ больше.—**8)** Пусть при давленіяхъ p и p' объемы газа будутъ v и v'. Выписавъ пропорцію, отвѣчающую закону Бойля, взять произведенія среднихъ и крайнихъ членовъ. *Отв.* $pv=p'v'$. (***Другая форма закона***, весьма удобная при рѣшеніи вопросовъ на соотношеніе между объемомъ и давленіемъ газа).—**9)** Каково было давленіе нѣкотораго разрѣженнаго газа, если послѣ того, какъ объемъ этого газа уменьшенъ въ n разъ, манометръ показалъ давленіе $=h$ сантиметр. ртутнаго столба? (Способъ измѣренія давленія сильно разрѣженныхъ газовъ).—**10)** Литръ воздуха при нормальномъ давленіи и температурѣ 0^0 вѣситъ около 1,3 гр. Сколько будетъ вѣсить литръ воздуха при той же температурѣ на вершинѣ Монблана, положимъ, при давленіи 420 мм.? *Отв.* $1,3.\ \frac{420}{760}$ гр., или почти 0,72 гр.—**11)** Сколько вѣситъ свѣтильный газъ, наполняющій собою желѣзный цилиндръ вмѣстимостью въ 1 куб. метръ подъ давленіемъ въ 25 атмосферъ, если литръ воздуха при нормальномъ давленіи и 0^0 вѣситъ 1,3 гр., а плотность свѣтильнаго газа составляетъ 0,4 плотности воздуха при одинаковыхъ условіяхъ? *Отв.* 13 килограммовъ.—**12)** При обыкновенной температурѣ (12^0—16^0 по нашимъ термометрамъ) и нормальномъ давленіи литръ воздуха вѣситъ около 1,2 гр., а водородъ въ одинаковыхъ условіяхъ въ $14^1/_2$ раза легче воздуха. Вычислить вѣсъ водорода, наполняющаго аэростатъ вмѣстимостью въ 1200 куб. метр. при той же температурѣ и давленіи 735 мм. *Отв.* При заданномъ давленіи водородъ легче воздуха, взятаго подъ нормальнымъ давленіемъ, въ $14,5.\ \frac{760}{735}$ или почти ровно въ 15 разъ. Слѣдов. 1200 куб. м. водорода при этомъ давленіи будутъ вѣсить $\frac{1,2.\ 1000.\ 1200}{15}=96000$ гр. $=96$ кг., или около 6 пуд. (Такова обыкновенная вмѣстимость аэростата, способнаго, кромѣ корзины съ оснасткою, приборовъ для наблюденій и необходимаго балласта, поднять троихъ воздухоплавателей).

Смѣшанные вопросы.—Съ силою сколькихъ атмосферъ сжатъ воздухъ, накачиваемый въ водолазный аппаратъ, который находится на глубинѣ 5 сажень подъ водою? Сколькимъ приблиз. атмосферамъ соотвѣтствуетъ давленіе воды на ***наибольшей морской глубинѣ***, около 10 км.? (См. „справочныя свѣдѣнія" къ вопросамъ гл. IV, стр. 76). — Положимъ, что въ „пустоту" барометра проникъ воздухъ, вслѣдствіе чего барометръ при нормальномъ атмосферномъ давленіи показываетъ 755 мм. Во сколько разъ плотность воздуха въ барометрѣ меньше плотности при нормальномъ давленіи? *Отв.* Въ $\frac{760}{5}=152$ раза. (См. вопр. 4 къ § 137) — Пусть вмѣстимость цилиндра воздушнаго насоса равна вмѣстимости сосуда, въ которомъ надо разрѣдить воздухъ: въ сосудѣ сперва находится обыкновенный атмосферный воздухъ. Какая доля прежняго воздуха останется въ сосудѣ послѣ 10 вытягиваній поршня и каково будетъ давленіе разрѣженнаго воздуха на кв. см. внутренней поверхности сосуда? *Отв.* Давленіе около 1 гр./кв. см.—Воздухъ при обыкновенномъ давленіи наполняетъ собою кубъ, ребро котораго 1 футъ. Во сколько разъ надо уменьшить давленіе, чтобы воздухъ занялъ объемъ куба, котораго ребро $=1$ сажени? *Отв.* Въ 343 раза. Какое давленіе надо ***прибавить*** къ атмосферному, чтобы тотъ же воздухъ помѣстился въ кубѣ, ребро котораго $=6$ дюйм.? *Отв.* 7 атм.—Насколько измѣнится давленіе атмосферы на площадь въ ***1 кв. километръ*** при паденіи или повышеніи барометра на 1 мм. сравнительно съ нормальною высотою? *Отв.* Нормальное давленіе соотвѣтствуетъ 10300 кг./кв. м.; $^1/_{760}$ этого составитъ 13,6 кг./кв. м., т. е., 13,6 ***милліоновъ*** килогр. на кв. километръ.—Сдѣлать приблиз. разсчетъ соотвѣтствующаго измѣненія давленія на ***1 кв. версту***, принявъ нормальное $=60$ пуд. на кв. футъ. *Отв.* Давленіе на 1 кв. саж. $=60.49$ или около 3000 пуд., а на кв. версту 750000000 пуд.; $^1/_{760}$ этого составляетъ около ***1 милліона*** пудовъ. Если принять въ среднемъ измѣненіе давленія въ милліонъ пудовъ на ***каждый*** мм. барометрической высоты, то паденію барометра на 50 мм. (напр. съ 770 до 720 мм.) отвѣчала бы убыль

давленія на кв. версту = 50000000 пуд., что приблизительно равняется вѣсу 50 большихъ броненосныхъ судовъ. (Нѣтъ ничего невѣроятнаго въ томъ, что быстрое и сильное паденіе атмосферного давленія при надлежащихъ условіяхъ можетъ служить *поводомъ* къ сотрясенію почвы, давая возможность расширяться заключеннымъ въ подземныхъ полостяхъ газамъ и парáмъ).

IX.

Объ измѣненіяхъ объема и состоянія тѣлъ при нагрѣваніи и охлажденіи. Ртутный термометръ.

До сихъ поръ мы упоминали объ измѣняемости тѣлъ лишь попутно. Но каждый знаетъ, что съ тѣлами могутъ происходить многочисленныя и разнообразнѣйшія измѣненія. Отъ разныхъ причинъ предметы измѣняются въ формѣ, размѣрахъ, дробятся на части (ломаются), измельчаются. Отсюда неизбѣжная „порча", изнашиваніе предметовъ при ихъ употребленіи. Это измельченіе, изнашиваніе—одна изъ постоянныхъ причинъ образованія пыли, отъ которой никогда не бываетъ вполнѣ свободенъ окружающій насъ воздухъ: въ пыли можетъ быть доказано присутствіе мельчайшихъ частичекъ всевозможныхъ тѣлъ. — Вода является намъ то жидкою водою, то льдомъ, то пàромъ. Сахаръ, соль и многія другія тѣла растворяются (распускаются) въ водѣ. Дрова въ печи сгораютъ, превращаясь въ газы, дымъ и золу. Число общеизвѣстныхъ примѣровъ легко было бы умножить. Но въ дѣйствительности область измѣненій еще несравненно обширнѣе: почти нѣтъ вещи, въ которой утонченное наблюденіе не открыло бы непрерывныхъ измѣненій.

Въ этой главѣ мы разсмотримъ нѣкоторыя измѣненія, которыя происходятъ съ тѣлами при ихъ нагрѣваніи и охлажденіи. „Температура" (степень нагрѣтости) окружающихъ насъ тѣлъ очень измѣнчива; а вмѣстѣ съ перемѣнами температуры измѣняются объемъ и состояніе тѣлъ.

Измѣненіе размѣровъ и объема тѣлъ съ перемѣною температуры.

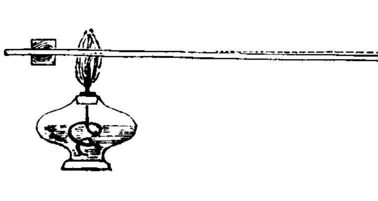
140*. Нѣкоторые относящіеся сюда примѣры были указаны выше (§§ 26, 27 и 76). Здѣсь полезно еще разъ обратить вниманіе на то, что обычную фразу: „тѣла при нагрѣваніи расширяются, а при охлажденіи сжимаются", слѣдуетъ принимать съ извѣстными ограниченіями. Во-1) есть случаи, когда происходитъ какъ разъ обратное—по крайней мѣрѣ въ нѣкоторыхъ границахъ температуры. Одно изъ самыхъ обыкновенныхъ тѣлъ, вода, представляетъ именно такую особенность, когда она очень холодна, — между точкою замерзанія и $3^1/_5$ градусами по нашему обыкновенному термометру (§ 27). Во-2) въ случаѣ газовъ никоимъ образомъ не слѣдуетъ упускать изъ виду внѣшняго давленія, безъ котораго вообще нельзя говорить о какомъ бы то ни было „объемѣ" газа. Если нагрѣвать напр. воздухъ въ закупоренной склянкѣ, то, какъ показываетъ опытъ, давленіе его на стѣнки усиливается,—однакожъ не настолько, чтобы его не могъ выдержать прочный (хотя бы стеклянный) сосудъ; слѣдовательно объемъ воздуха при этомъ не увеличится. Съ другой же стороны, объемъ воздуха не уменьшится при охлажденіи въ закупоренной склянкѣ,—хотя давленіе газа и станетъ слабѣе,—такъ какъ нѣтъ внѣшней причины, которая могла бы сжать газъ до меньшаго объема. Такимъ образомъ, когда мы наблюдаемъ расширеніе газа при нагрѣваніи и сжатіе его при охлажденіи, то не надо забывать той роли, какую играетъ при этомъ внѣшнее давленіе, обыкновенно — атмосферное. (См напр. опытъ, описанный выше, § 76).

Внѣшнимъ противодѣйствіемъ удается до нѣкоторой степени помѣшать расширенію также твердыхъ и жидкихъ тѣлъ. Но они могутъ производить огромное давленіе на преграды, препятствующія ихъ расширенію. Чугунная бомба, будучи наполнена водою и плотно задѣлана, разрывается, если нагрѣть ее въ достаточной степени. Сжатіе твердаго тѣла при охлажденіи, напр. укорачиваніе нагрѣтаго стержня, также происходитъ съ большой силою; натяженіе, которое при этомъ можетъ произойти, если концы стержня закрѣплены, зависитъ отъ крѣпости матеріала; оно конечно не больше того, какое въ состояніи выдержать стержень. Остывая послѣ нагрѣванія, толстый желѣзный прутъ можетъ разорваться, если концы его укрѣплены достаточно прочно.

141. Въ тѣсной связи съ измѣненіемъ объема тѣлъ находится измѣненіе ихъ плотности. О „плотности" тѣла судятъ по количеству матеріала, какое приходится на дан-

ный его объемъ, — обыкновенно по вѣсу единицы объема. Представимъ себѣ теперь ровно куб. дюймъ желѣза при комнатной температурѣ. Если нагрѣемъ его, то желѣзо расширится и займетъ объемъ нѣсколько бо́льшій куб. дюйма. Но возьмемъ опять ровно кубическій дюймъ этого нагрѣтаго желѣза: въ немъ очевидно будетъ содержаться меньше желѣзнаго вещества, чѣмъ въ такомъ же объемѣ первоначально взятаго желѣза; дѣйствительно, вѣсъ одного кубическаго дюйма желѣза будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ выше температура металла. Итакъ плотность желѣза при нагрѣваніи уменьшается (при охлажденіи конечно увеличивается). То же самое относится и до другихъ твердыхъ или жидкихъ тѣлъ, расширяющихся при нагрѣваніи. Что касается плотности газа, то она будетъ измѣняться при нагрѣваніи или охлажденіи лишь тогда, когда измѣняется его объемъ; въ противномъ случаѣ плотность газа конечно остается безъ измѣненія.

142*. Перемѣна температуры можетъ измѣнить и форму твердаго тѣла, напр., если оно въ разныхъ частяхъ нагрѣвается неодинаково. Стеклянная трубка (около аршина длиною), укрѣпленная горизонтально за одинъ конецъ (рис. 119), замѣтно изгибается кверху, если слегка нагрѣть ее пламенемъ вблизи закрѣпленнаго конца (объяснить, почему?). Хрупкое тѣло при быстромъ и неравномѣрномъ нагрѣваніи иногда не выдерживаетъ разницы въ расширеніи и разрушается (трескается). Такъ толстостѣнные стеклянные стаканы часто лопаются при внезапномъ вливаніи горячей воды. Быстрое охлажденіе хрупкаго предмета можетъ привести къ тому же послѣдствію: горячее ламповое стекло растрескивается, если брызнуть на него водою.



119.

143. Увеличеніе объема (уменьшеніе плотности) твердаго или жидкаго тѣла при нагрѣваніи проще всего представить себѣ какъ слѣдствіе нѣкотораго рода раздвиженія его частицъ: выражаясь грубо, можно сказать, что нагрѣваемое тѣло какъ бы разрыхляется. Сила, связывающая частицы тѣла въ одно цѣлое (сила сцѣпленія), при этомъ становится слабѣе. На уменьшеніе степени связности частицъ съ повышеніемъ температуры указываютъ многія явленія. Въ особенности это замѣтно на тѣлахъ твердыхъ, сопротивляемость которыхъ разлому, разрыву и пр. съ повышеніемъ температуры обыкновенно уменьшается: тѣла становятся вообще менѣе прочными. Нѣкоторыя твердыя тѣла болѣе или менѣе размягчаются, если ихъ нагрѣть въ достаточной степени, — обыкновенно до температуръ близкихъ къ той, при которой они плавятся. Примѣры желѣза и стекла упоминались въ § 20.

Что касается жидкостей, то и въ нихъ замѣчаются явленія, указывающія на ослабленіе частичнаго сцѣпленія съ повышеніемъ температуры.

Надо замѣтить, что съ перемѣною температуры тѣлъ измѣняются въ большей или меньшей степени многія ихъ свойства. Кусокъ стекла при комнатной температурѣ и тотъ же кусокъ, нагрѣтый хотя бы теплотою руки, уже не тожественны между собою: утонченное изслѣдованіе откроетъ въ нихъ, кромѣ указанной разницы въ плотности, еще и другія различія, совершенно исчезающія для поверхностнаго наблюденія.

Превращеніе воды въ ледъ и паръ; постоянныя температуры таянія и кипѣнія.

144. Будучи нагрѣто въ достаточной степени, твердое тѣло можетъ превратиться въ жидкость и въ паръ; паръ при надлежащемъ охлажденіи сжижается и затвердѣваетъ. Самый обыкновенный и самый важный для насъ примѣръ — превращеніе воды съ перемѣною температуры. Сто́итъ лишь сравнить картину нашей сѣверной природы въ разныя времена года, чтобы видѣть, какія значительныя перемѣны производятся въ ней измѣненіемъ температуры на нѣсколько градусовъ по нашему термометру. И эти перемѣны зависятъ главнымъ образомъ отъ того, что выше нѣкоторой опредѣленной степени тепла вода — подвижная жидкость, а ниже — твердое камнеподобное тѣло.

Что превращеніе воды въ ледъ или обратно происходитъ при нѣкоторой совершенно опредѣленной темпе-

ратурѣ—въ этомъ можно удостовѣриться разными способами. Возьмемъ напр. тонкую стеклянную трубочку съ выдутымъ на концѣ ея шарикомъ (рис. 120) и наполнимъ шарикъ, а также часть трубки, подкрашеннымъ спиртомъ или ртутью (таковы трубки нашихъ обыкновенныхъ термометровъ). Всякое измѣненіе температуры жидкости въ этомъ приборѣ произведетъ измѣненіе ея объема, т. е. либо поднятіе ея въ трубкѣ, либо опусканіе; при постоянствѣ температуры столбикъ жидкости останется на мѣстѣ. Если будемъ опускать нашу трубку въ чистый тающій снѣгъ или ледъ, то увидимъ, что жидкость всегда установится на одной и той же высотѣ. Тающій снѣгъ (или ледъ) окажется одинаково холоднымъ, будетъ ли онъ таять въ комнатѣ или на горячей кухонной плитѣ; въ послѣднемъ случаѣ переходъ въ жидкое состояніе будетъ лишь происходить гораздо быстрѣе. Температура затвердѣванія (замерзанія) воды оказалась бы тою же самою, какъ и таянія льда. Эта степень холода называется температурою „таянія льда" или „замерзанія воды".

120.

145. Испареніе воды. При нагрѣваніи вода превращается въ газообразное состояніе—въ паръ—и при достаточной степени тепла кипитъ. Но она испаряется и при низкихъ температурахъ. Оставленная на блюдцѣ въ комнатѣ, вода постепенно исчезаетъ, превращаясь въ невидимый паръ, который уносится въ воздухъ. Вслѣдствіе постояннаго испаренія воды, атмосферный воздухъ (даже воздухъ, считающійся „сухимъ" въ повседневной жизни) всегда содержитъ бо̀льшую или меньшую примѣсь водяныхъ паровъ. Въ этомъ легко удостовѣриться, охладивъ воздухъ въ достаточной степени, чтобы водяные пары могли перейти въ жидкое состояніе. (Обратить вниманіе на стѣнки графина съ холодною водою, внесеннаго въ жилую комнату; образованіе „отпоти" на оконныхъ стеклахъ въ холодную погоду; образованіе тумана, росы и пр.).

Медленно испаряется даже очень холодная вода. Надъ начинающей замерзать рѣкою или лужей, если воздухъ достаточно холоденъ, въ тихую погоду поднимается туманъ, образованіе котораго и указываетъ на испареніе воды при

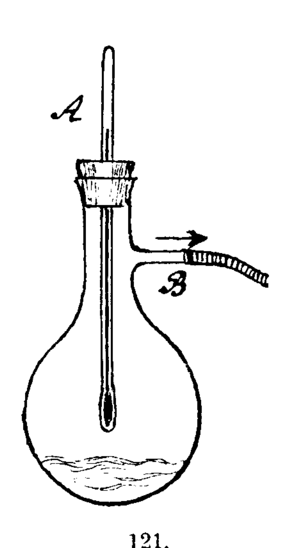
температурѣ замерзанія. Но чѣмъ вода теплѣе, тѣмъ быстрѣе она испаряется.

146. Кипѣніе. Кипѣніемъ мы называемъ болѣе или менѣе быстрое испареніе воды, отличающееся отъ испаренія ея при низшихъ температурахъ тѣмъ, что пары образуются тогда не только съ поверхности, но и внутри жидкости: они выдѣляются изъ нея пузырями, придавая самому явленію своеобразную внѣшность. Водяной паръ, подымающійся надъ кипящей водой, какъ было упомянуто выше (§ 18), самъ по себѣ невидимъ и является намъ чѣмъ-то вродѣ облака или тумана уже вслѣдствіе охлажденія въ воздухѣ и образованія мельчайшихъ частицъ жидкой воды.

Но кипѣніе отличается отъ обыкновеннаго испаренія еще одною важною особенностью. Кипящая вода одинаково горяча, происходитъ ли кипѣніе на слабомъ или очень сильномъ огнѣ: въ послѣднемъ случаѣ вода лишь выкипаетъ быстрѣе. При обычныхъ условіяхъ воду нельзя сдѣлать еще горячѣе, какъ бы мы ни усиливали жаръ, — точно такъ, какъ нельзя нагрѣть ледъ выше той температуры, при которой онъ плавится. Въ постоянствѣ температуры кипѣнія воды мы могли бы убѣдиться упомянутымъ выше способомъ. Но и изъ повседневной жизни всякій болѣе или менѣе знакомъ съ этимъ обстоятельствомъ. Въ самомъ дѣлѣ, если бы мы не были увѣрены въ томъ, что кипящая вода одинаково горяча (по крайней мѣрѣ приблизительно) въ разное время и на разномъ огнѣ, то мы бы встрѣтили большое затрудненіе при варкѣ мяса, овощей и пр., требующей именно опредѣленной степени тепла.

Однако есть возможность повысить температуру кипящей воды, измѣнивъ условія кипѣнія, а именно увеличивая давленіе на ея поверхность. Обыкновенно мы наблюдаемъ кипѣніе подъ давленіемъ окружающаго насъ воздуха. Но если нагрѣвать воду въ прочномъ котлѣ, изъ котораго паръ имѣлъ бы затрудненный выходъ, то можно значительно повысить температуру воды надъ обыкновенной температурой кипѣнія ея. Вода въ котлѣ паровоза, находящаяся подъ сильнымъ давленіемъ собственныхъ паровъ, бываетъ гораздо горячѣе воды, кипящей при обычныхъ условіяхъ.

Напротивъ, уменьшая давленіе на воду сравнительно съ атмосфернымъ, можно понизить температуру ея кипѣнія. Вскипятимъ воду въ колбѣ со вставленнымъ въ нее термометромъ *A* (рис. 121): вскорѣ ртутный столбикъ въ термометрѣ перестанетъ повышаться, не смотря на продолжающееся сообщеніе теплоты пламенемъ. Тогда отнимемъ огонь и присоединимъ къ колбѣ, при помощи резиновой трубки *B*, воздушный насосъ (достаточно взять маленькій ручной). Немногихъ качаній поршня будетъ достаточно, чтобы вода сильно закипѣла, причемъ термометръ покажетъ пониженіе температуры на нѣсколько градусовъ. Но стóитъ лишь сообщить трубку *B* съ внѣшнимъ воздухомъ — и кипѣніе тотчасъ прекратится. Новымъ разрѣженіемъ снова можно произвести кипѣніе, причемъ ртуть въ термометрѣ опустится еще ниже [1]. — При надлежащей постановкѣ опыта можно достичь того, что вода будетъ вскипать даже охладившись до комнатной температуры.—Еще болѣе разительный опытъ удается произвести, пользуясь хорошимъ воздушнымъ насосомъ съ нѣкоторыми вспомогательными приспособленіями: можно настолько уменьшить давленіе на воду, что она будетъ закипать при той же самой температурѣ, при которой она замерзаетъ. Итакъ температура кипѣнія воды измѣняется съ измѣненіемъ внѣшняго давленія. Но при нѣкоторомъ данномъ давленіи, наша трубка со ртутью, опущенная въ пары кипящей воды, всегда показала бы одну и ту же температуру. Температура, при которой вода кипитъ подъ нормальнымъ давленіемъ,



121.

[1] Напротивъ, если вскипятить воду и, не отнимая огня, зажать на короткое время трубку *B*, то накопляющійся въ колбѣ паръ произведетъ усиленное давленіе на воду, и ртуть въ термометрѣ станетъ повышаться. Но она тотчасъ опустится до прежней высоты, какъ только отверстіе трубки *B* будетъ открыто. (Конечно опытъ надо производить съ большой осмотрительностью, ограничиваясь повышеніемъ температуры на нѣсколько градусовъ).

называется для краткости просто „температурою кипѣнія“ воды.

Такъ какъ атмосферное давленіе измѣнчиво, то и температура, при которой кипитъ вода, не вполнѣ постоянна. Но разницы обыкновенно настолько малы, что не замѣчаются нами. На большой же высотѣ надъ уровнемъ моря (на очень высокихъ горахъ) кипящая вода уже не достаточно горяча для варки въ ней пищи.

Сжиженіе паровъ, т. е. превращеніе въ воду, происходитъ при надлежащемъ охлажденіи ихъ. Съ этимъ связано образованіе тумана, росы и пр. Отъ количества паровъ въ воздухѣ и отъ его температуры конечно будетъ зависѣть то, насколько именно надо понизить его температуру, чтобы началось выдѣленіе жидкой воды.

147. Остается еще прибавить, что и ледъ, хотя весьма медленно, испаряется на морозномъ воздухѣ. Наблюдая изо дня въ день за слоемъ льда въ такомъ мѣстѣ, гдѣ онъ не образуется за-ново, можно замѣтить, что ледяной покровъ становится все тоньше и наконецъ исчезаетъ. (Постепенное исчезновеніе льда съ панелей; сушка бѣлья на морозѣ).

Обратно, водяные пары могутъ при достаточно низкой температурѣ прямо переходить въ твердое состояніе. Таково происхожденіе снѣга и инея.

Обратимся теперь къ измѣненію состоянія другихъ тѣлъ.

Плавленіе и испареніе тѣлъ; переходъ въ жидкое и твердое состоянія.

148. Температура, при которой твердыя тѣла плавятся, чрезвычайно различна. Одни, какъ напр. стеаринъ, сѣра, олово, легко плавятся уже въ пламени обыкновенной спиртовой лампы, другія (желѣзо, платина) становятся жидкими только при очень высокихъ температурахъ, именно въ жару плавильныхъ печей, отапливаемыхъ углемъ при сильномъ притокѣ воздуха; наконецъ нѣкоторыя (глина, известь) требуютъ температуры еще болѣе высокой. Поэтому на практикѣ обыкновенно различаютъ тѣла легкоплавкія, тугоплавкія и огнеупорныя.

Испаряются какъ жидкія, такъ и твердыя тѣла. Но испареніе послѣднихъ обыкновенно дѣлается замѣтнымъ лишь при температурахъ близкихъ къ плавленію; а потому

разсматривается преимущественно испареніе жидкостей. Примѣрами легко испаряющихся твердыхъ тѣлъ могутъ служить камфора, нафталинъ, іодъ.

Жидкости испаряются тѣмъ быстрѣе, чѣмъ выше температура. При достаточномъ повышеніи температуры паръ начинаетъ образоваться и внутри жидкости: происходитъ кипѣніе. Съ увеличеніемъ давленія на поверхность жидкости температура кипѣнія повышается, а съ уменьшеніемъ понижается.

149. Всѣ ли тѣла могутъ быть расплавлены и превращены въ паръ при достаточно сильномъ нагрѣваніи? На этотъ вопросъ можетъ отвѣтить конечно только опытъ. Прежде всего, мы знаемъ примѣры тѣлъ, которыя совершенно измѣняются дѣйствіемъ жара. Таковы: дерево, бумага, шерсть и многія другія тѣла органическаго (т. е. растительнаго или животнаго) происхожденія. Ниже мы познакомимся и съ другими примѣрами подобныхъ химическихъ измѣненій тѣлъ, производимыхъ теплотою. Мы увидимъ, что очень часто тѣло при нагрѣваніи распадается или разлагается на два или болѣе новыхъ. Слѣдовательно, измѣняясь химически дѣйствіемъ нагрѣванія, тѣла уже перестаютъ быть тѣмъ, чѣмъ были.

Если исключимъ изъ разсмотрѣнія тѣла, которыя при нагрѣваніи разлагаются, прежде чѣмъ расплавиться или испариться, то можно сказать вообще, что при достаточно высокой температурѣ плавятся или переходятъ въ паръ всѣ тѣла. Лава вулкановъ, состоящая изъ расплавленныхъ горныхъ породъ, свидѣтельствуетъ намъ о плавкости камней. Плавленіе ихъ производится и искусственно при тѣхъ степеняхъ жара, которыя довольно легко достигаются нынѣ въ такъ называемыхъ „электрическихъ печахъ“. Въ жару такихъ печей плавятся и испаряются также всѣ металлы.— При той чрезвычайно высокой температурѣ, которая господствуетъ на солнцѣ, твердыхъ тѣлъ вѣроятно или вовсе не существуетъ, или они образуются лишь временно. Есть звѣзды столь высокой температуры, что ихъ можно предполагать состоящими только изъ раскаленныхъ газовъ.

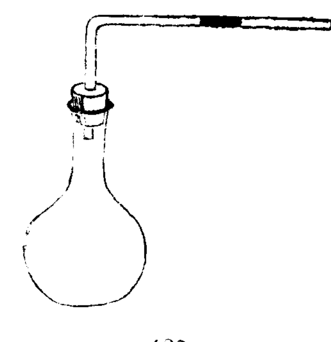
Наоборотъ, при достаточномъ пониженіи температуры, пары и газы переходятъ въ жидкое и твердое состоянія. Исключенія не составляетъ и воздухъ: сильнымъ охлажденіемъ, достигаемымъ искусственно (какъ именно—объ этомъ будетъ дано понятіе впослѣдствіи), его можно превратить въ жидкое и твердое тѣло.

Итакъ, называя одно тѣло твердымъ, другое жидкостью, третье газомъ, мы примѣняемся лишь къ обычнымъ условіямъ температуры, при которыхъ имѣемъ съ ними дѣло. При очень высокихъ температурахъ мы имѣли бы только газообразныя, а при очень низкихъ — вѣроятно только твердыя тѣла.

Изъ предыдущаго мы видимъ, какъ велика зависимость свойствъ тѣлъ отъ ихъ температуры. Съ измѣненіемъ температуры, тѣла измѣняются въ размѣрахъ и объемѣ (плотности), переходятъ изъ твердаго состоянія въ жидкое и газообразное и обратно; наконецъ могутъ, измѣняясь химически, превращаться въ новыя тѣла. Мы знаемъ, кромѣ того, что жизнь животныхъ и растеній возможна только въ извѣстныхъ границахъ температуры. Отсюда понятна важность приборовъ, служащихъ для сравненія и измѣренія температуръ. Такіе приборы называются вообще термометрами.

Устройство и употребленіе ртутнаго термометра.

150*. Объ измѣненіи температуры, какъ мы видѣли выше, можно судить по расширенію или сжатію жидкости (ртути, спирта и др.). Для той же цѣли можно конечно воспользоваться и другимъ тѣломъ, напр. воздухомъ. Возьмемъ колбочку съ плотно прилаженной къ ней изогнутой стеклянной трубкою (рис. 122), въ которую впустимъ каплю (подкрашенной) воды. Тогда объ измѣненіи температуры мы будемъ судить по измѣненію объема воздуха въ колбочкѣ, т. е. по положенію капли жидкости въ трубкѣ. Для удобства можно прикрѣпить къ трубкѣ бумажную полоску съ дѣленіями. Можно воспользоваться и двухколѣнной стеклянной трубкой, содержащей подкрашенную воду (нѣчто вродѣ водяного манометра, см. § 49, рис. 38), присоединивъ колбочку къ этой трубкѣ.



122.

Если приборы—вродѣ только что описанныхъ—служатъ лишь для того, чтобы судить объ измѣненіяхъ или постоянствѣ температуры, то они называются термоскопами. Приборъ получаетъ названіе термометра, когда онъ устроенъ такъ, что позволяетъ измѣрять температуру—выражать ее числомъ извѣстнымъ образомъ намѣченныхъ „градусовъ“. Чаще всего употребляются термометры со ртутью. Обыкновенный ртутный термометръ состоитъ изъ тонкой стеклянной трубочки съ расширеніемъ (резервуаромъ) на одномъ концѣ, наполненнымъ ртутью, которая занимаетъ и часть трубки. Трубка съ другого конца запаяна и не содержитъ воздуха. Къ термометрической трубкѣ присоединена „шкала“, на которой нанесены равныя дѣленія, называемыя градусами термометра (⁰). Остановимся на способѣ, какимъ шкала ртутнаго термометра раздѣляется на градусы.

151*. Если бы дѣленія были сдѣланы произвольно, то приборы съ резервуарами разной величины или трубками разной ширины давали бы совершенно различныя показанія: это были бы термоскопы, а не термометры. На шкалѣ термометра отмѣчаютъ прежде всего двѣ точки, соотвѣтствующія двумъ постояннымъ температурамъ, а потомъ уже дѣлятъ промежутомъ между ними на условленное число градусовъ. Эти точки, называемыя основными точками термометрической шкалы, даются постоянными температурами таянія льда и кипѣнія воды.

Температура, при которой таетъ чистый снѣгъ или ледъ, отмѣчается нулемъ, а температура чистой воды, кипящей подъ нормальнымъ давленіемъ, числомъ 80 или 100. Промежутокъ между точками таянія и кипѣнія дѣлится на 80 или 100 равныхъ частей, которыя обыкновенно откладываются и ниже 0⁰. Восьмидесятиградусный термометръ или термометръ Реомюра (сокращено Р.) есть тотъ, по которому мы отсчитываемъ температуры въ повседневной жизни, а стоградусный, или термометръ Цельсія (Ц.), принятъ въ научныхъ изслѣдованіяхъ, во врачебной практикѣ (т. называемые медицинскіе или врачебные термометры) и нѣкоторыхъ другихъ случаяхъ. Рис. 123 изображаетъ т. наз. „химическій термометръ“ (Ц.) съ градусными дѣленіями на самой стеклянной трубкѣ.

Итакъ градусъ термометрической шкалы есть восьми-

десятая (Р.) или сотая (Ц.) часть промежутка между точками таянія и кипѣнія. Восемьдесятъ градусовъ термометра Реомюра соотвѣтствуютъ ста градусамъ термометра Цельсія. Когда термометръ Р. показываетъ 4°, термометръ Ц. покажетъ 5°; когда температура по первому 8°, по второму она 10° и т. д. Словомъ, 4° Р. равнозначны 5° Ц., что короче пишутъ такъ:

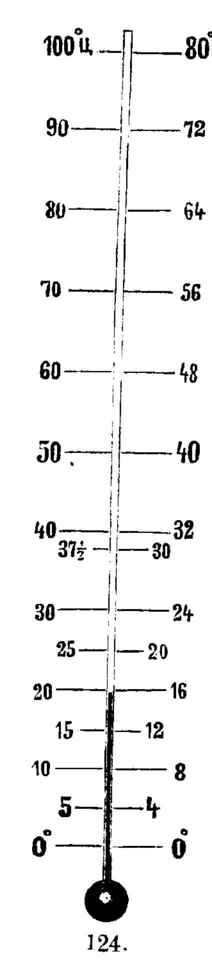
$$4^\circ\ \text{Р.} = 5^\circ\ \text{Ц.}$$

и отсюда $\begin{cases} 1^\circ\ \text{Р.} = {}^5/_4{}^\circ\ \text{Ц.} \\ 1^\circ\ \text{Ц.} = {}^4/_5{}^\circ\ \text{Р.} \end{cases}$

Это простое соотношеніе служитъ для перевода показаній одного термометра на показанія другого. (См. примѣры въ вопросахъ къ этому §, а также въ § 155). На рис. 124 изображено соотношеніе шкалъ Цельсія и Реомюра.

123.

Градусы выше 0° принято въ общежитіи называть градусами тепла, а ниже 0°—градусами холода. (Ихъ отличаютъ знаками + и —, поставленными передъ числомъ градусовъ, напр. пишутъ + 15°, или просто 15°. и—15°). Но „тепло“ и „холодъ“—понятія относительныя. Если сегодня оттепель (0°), а вчера было 5° тепла (+ 5°), то все равно, скажемъ ли мы, что вчера было „теплѣе“ сегодняшняго, или что сегодня „холоднѣе“ вчерашняго. Температура, соотвѣтствующая оттепели (0°), будетъ „тепломъ“ по сравненію напр. съ 10° холода (—10°); а эта температура, въ свою очередь, будетъ „тепломъ“ сравнительно съ 20-градуснымъ морозомъ. Холодъ есть лишь меньшая степень тепла. Наша повседневная привычка отличать именно температуры выше и ниже нуля особыми названіями („тепла“ и „холода“) происходитъ отъ того, что съ переходомъ температуры чрезъ нулевую точку нашего термометра связано измѣненіе состоянія воды, а съ нимъ—



124.

рѣзкое измѣненіе картины всей нашей природы[1]. До какой степени условны выраженія, употребляемыя нами для обозначенія степеней тепла въ разныхъ случаяхъ, показываютъ еще слѣдующіе примѣры. Часто говорятъ: „теплая зима“, „холодное лѣто“.—Самоваръ, въ которомъ вода настолько остыла, что не годится для заварки чая, называютъ „холоднымъ“, между тѣмъ какъ онъ еще горячъ на ощупь. Про утюгъ, который не достаточно горячъ для глаженья, говорятъ: „холодный утюгъ“,—хотя объ него конечно можно сильно обжечься. Желтоватое пламя свѣчи имѣетъ температуру гораздо болѣе низкую, чѣмъ голубое пламя газовой паяльной лампы, и мы назовемъ первое „холоднымъ“ сравнительно со вторымъ, когда дѣло коснется напр. размягченія въ пламени стеклянной трубки.

152*. Вотъ нѣкоторыя подробности, касающіяся изготовленія и употребленія ртутнаго термометра.

Наполненіе узкой термометрической трубки и шарика ртутью производится слѣдующимъ образомъ. Въ вороночку на верхнемъ концѣ трубки (рис. 125), вливаютъ ртути и нагрѣваютъ шарикъ: воздухъ, расширяясь, частью выходитъ наружу. Затѣмъ даютъ шарику охлаждаться: тогда, вслѣдствіе перевѣса атмосфернаго давленія, нѣкоторое количество ртути войдетъ въ шарикъ. Когда ея въ шарикѣ будетъ достаточно, нагрѣваютъ ртуть настолько, чтобы она наполнила собою всю трубку, и запаиваютъ конецъ трубки.

Для установки нулевой точки держатъ резервуаръ и часть трубки въ чистомъ тающемъ льдѣ (мелкоистолченномъ), пока ртутный столбикъ не перестанетъ опускаться. Чтобы отмѣтить точку кипѣнія, помѣщаютъ термометрическую трубку въ *пары* кипящей воды и снова выжидаютъ полной остановки ртутнаго столбика. Если давленіе воздуха *нормальное* (см. § 71), то указываемая концомъ столбика точка и будетъ „точкою кипѣнія“; въ противномъ случаѣ нужна нѣкоторая *поправка* (находимая изъ таблицъ температуръ кипѣнія воды при разныхъ давленіяхъ), чтобы вѣрно отмѣтить положеніе этой точки[2].

125.

[1] Температуру таянія или замерзанія можно конечно обозначать и не нулемъ. Напр. нулевая точка термометра Фаренгейта (употребляемаго между прочимъ въ Англіи) соотвѣтствуетъ—$14\frac{2}{9}°$ по термометру Реомюра.

[2] Измѣненіе барометрической высоты на 25 мм. (точнѣе 27) производитъ измѣненіе температуры кипѣнія воды на 1° Ц. (Перемѣна давленія на $1\frac{1}{2}$ дюйма приблиз. соотвѣтствуетъ измѣненію температуры кипѣнія на 1° Р.).

Хорошіе термометры должны давать *согласныя между собою показанія*, т. е. показывать одно и то же число градусовъ при одной и той же температурѣ. Обыкновенные ртутные термометры (по причинамъ, о которыхъ говорить здѣсь было бы неумѣстно) всегда болѣе или менѣе расходятся въ своихъ показаніяхъ. Чтобы *сравнить* въ этомъ отношеніи два термометра, ихъ погружаютъ рядомъ въ воду той или иной температуры; помѣшивая воду, выжидаютъ, когда ртуть въ термометрахъ установится, и записываютъ ихъ показанія.

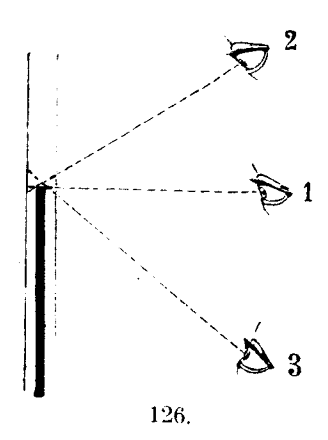
На шкалѣ нашихъ обыкновенныхъ термометровъ, какъ извѣстно, нѣтъ точки кипѣнія, и градусныя дѣленія не идутъ выше 40° или 50° (Р.): они наносятся *по сравненію* съ образцовымъ (нормальнымъ) термометромъ, содержащимъ обѣ основныя точки. Правильность показаній нашихъ термометровъ тѣсно связана съ правильностью показанія ихъ при температурѣ таянія. Для *провѣрки нулевой точки*, термометръ опускаютъ—по возможности до нулевой черты—въ *чистый тающій* снѣгъ или ледъ (мелкораздробленный) и, когда ртуть установится, записываютъ показаніе. Если ртуть покажетъ напр. $\frac{1}{2}°$ выше 0, то потомъ, наблюдая ту или иную температуру, принимаютъ въ разсчетъ эту разницу.

Въ научныхъ изслѣдованіяхъ иногда прибѣгаютъ къ *газовымъ термометрамъ*, т. е. такимъ, въ которыхъ нагрѣваемымъ тѣломъ, вмѣсто ртути, служитъ газъ (воздухъ или водородъ). Они гораздо точнѣе ртутныхъ и служатъ, такъ сказать, образцовыми приборами перваго порядка, съ показаніями которыхъ свѣряются показанія лучшихъ ртутныхъ термометровъ.

153. Термометръ даетъ намъ *гораздо болѣе надежное* средство для сужденія о температурѣ, *чѣмъ наше ощущеніе*. Какъ послѣднее иногда можетъ обманывать насъ, показываетъ между прочимъ опытъ, описанный выше, во введеніи (§ 1). Въ погребѣ, въ которомъ намъ холодно въ жаркій день, мы можемъ отогрѣться, озябнувъ на морозѣ. Затѣмъ каждый знаетъ, насколько можетъ расходиться сужденіе о температурѣ воздуха у двухъ разныхъ лицъ, находящихся въ одномъ и томъ же помѣщеніи. Температуру предметовъ очень горячихъ или очень холодныхъ мы почти совсѣмъ не можемъ оцѣнивать на ощупь.

Но чтобы можно было *довѣрять* показанію термометра, необходимо соблюдать при опредѣленіи температуры нѣкоторыя правила. Каждый термометръ, строго говоря, показываетъ лишь свою собственную температуру, и послѣдняя не всегда одинакова съ температурою тѣхъ предметовъ, къ которымъ термометръ при-

касается. Чтобы термометръ принялъ ихъ температуру, нужно большее или меньшее время. Поэтому основное правило при опредѣленіи температуры какого-нибудь тѣла—выждать, пока ртуть въ термометрической трубкѣ не будетъ болѣе перемѣщаться. Термометръ, погруженный въ воду, принимаетъ ея температуру довольно быстро; при опредѣленіи температуры человѣческаго тѣла приходится держать термометръ (подъ мышками) минутъ 10—15; температуру окружающаго воздуха термометръ принимаетъ еще медленнѣе. Опредѣляя температуру воздуха, кромѣ того, необходимо правильно помѣщать термометръ. Напр. при опредѣленіи температуры комнатнаго воздуха конечно нельзя вѣшать термометръ вблизи печки или оконъ. Но столь же непригодно подвѣшиваніе термометра (и эту ошибку часто дѣлаютъ) на наружной стѣнѣ дома, такъ какъ такая стѣна подвергается въ морозъ сильному охлажденію извнѣ, и висящій на ней термометръ можетъ показать температуру значительно ниже температуры комнатнаго воздуха. При опредѣленіи температуры наружнаго воздуха никоимъ образомъ не слѣдуетъ вѣшать термометръ на солнцѣ или на такой стѣнѣ, которая можетъ нагрѣваться дѣйствіемъ солнечныхъ лучей: иначе можно впасть въ большую ошибку. Термометръ подвѣшивается въ открытомъ мѣстѣ, внутри просторнаго ящика, снабженнаго горизонтальными прорѣзами съ заслонками (чтобы въ ящикъ не попадали солнечные лучи, а воздухъ имѣлъ въ него свободный доступъ): самый ящикъ устанавливается на нѣкоторой высотѣ надъ почвою.



126.

Правильное (1) и неправильныя (2, 3) положенія глаза при отсчитываніи градусовъ термометра.

Наконецъ, не желая впасть въ грубую ошибку, необходимо умѣть смотрѣть на термометръ, наблюдая его показанія: при отвѣсномъ положеніи термометра, глазъ долженъ находиться на одной горизонтальной прямой съ концомъ ртутнаго столбика. Стоитъ лишь попробовать смотрѣть на него снизу или сверху, чтобы убѣдиться, насколько ошибоченъ можетъ быть отсчетъ при неправильномъ положеніи глаза. (См. рис. 126).

Надо замѣтить, что данныя выше указанія относятся къ тѣмъ ртутнымъ термометрамъ, которыя чаще всего употребляются въ повседневной жизни. Ихъ показанія могутъ заслуживать довѣрія только при соблюденіи указанныхъ предосторожностей. Что же касается научнаго измѣренія температуръ, то оно требуетъ соблюденія еще гораздо большихъ условій, о которыхъ нельзя дать здѣсь и приблизительнаго понятія [1].

[1] Термометръ иногда называютъ „тепломѣромъ“—названіе, которое какъ бы обозначаетъ, что этимъ приборомъ мѣряется „теплота“ тѣла. Но мы увидимъ впослѣдствіи, что надо строго отличать температуру, или „степень нагрѣтости“ тѣла, отъ теплового запаса или количества „теплоты“ въ тѣлѣ. Термометръ указываетъ только температуру и, говоря вообще, не доставляетъ намъ свѣдѣній о тепловомъ запасѣ тѣлъ. Въ этомъ отношеніи онъ не даетъ намъ чего-либо большаго, нежели наше непосредственное тепловое ощущеніе.

Значеніе термометра при опредѣленіи объема и относительной плотности тѣлъ.

154. Объемъ твердаго или жидкаго тѣла измѣняется съ измѣненіемъ его температуры. Поэтому при сколько-нибудь точномъ измѣреніи объема необходимо обращать вниманіе на указываемую термометромъ температуру тѣла. Такъ мензурки и другіе сосуды, служащіе для измѣренія объема жидкихъ тѣлъ (§ 22), градуируются при нѣкоторой опредѣленной температурѣ; эта температура обыкновенно надписывается на стѣнкѣ сосуда. При всякой другой температурѣ, вслѣдствіе измѣненія емкости сосуда, его дѣленія, строго говоря, уже не отвѣчаютъ обозначеннымъ на немъ объемамъ. Лишь при небольшомъ различіи температуръ эта разница настолько мала, что ею часто можно пренебречь.

Съ измѣненіемъ объема тѣла, какъ упоминалось выше (§ 141), измѣняется и его плотность. Плотность твердыхъ тѣлъ и жидкостей, вообще говоря, уменьшается при нагрѣваніи и увеличивается при охлажденіи. Важную особенность въ этомъ отношеніи представляетъ вода.

Если охлаждать комнатную воду, то она, подобно большинству другихъ тѣлъ, сжимается, пока не достигнетъ температуры $3^1/_5$ по Р., т. е. 4° по Ц. При дальнѣйшемъ охлажденіи вода расширяется—вплоть до самаго замерзанія. Слѣдовательно при 4° Ц. въ нѣкоторомъ данномъ объемѣ (напр. куб. дюймѣ) помѣстится наибольшее количество воды, и данный объемъ воды будетъ вѣсить всего больше при 4° Ц. Это выражаютъ, говоря, что вода при 4° Ц. имѣетъ наибольшую плотность.

Метрическія единицы вѣса, граммъ и килограммъ, по первоначально принятому условію, должны были представлять собою вѣса извѣстнымъ образомъ отмѣренныхъ

объемовъ чистой воды. Здѣсь конечно чрезвычайно важно условіе, при сколькихъ градусахъ по термометру берется тотъ или другой объемъ воды. Не входя ни въ какія подробности, можно считать (съ большою степенью приближенія), что граммъ есть вѣсъ одного куб. сантиметра, а килограммъ—одного куб. дециметра (или литра) воды при температурѣ ея наибольшей плотности, т. е. при 4° по стоградусному термометру [1].

Что касается нашего фунта, то вѣсъ его весьма близокъ къ вѣсу 25 куб. дюйм. воды при той же температурѣ (=3,2° Р). Условія относительно температуры принимаются въ разсчетъ при всякихъ сколько-нибудь точныхъ измѣреніяхъ. Въ нашихъ опытахъ,—гдѣ погоня за точными числами была бы совсѣмъ неумѣстна,—отмѣривая воду мензуркою, обыкновенно можно не обращать вниманія на температуру и считать, что число отмѣренныхъ кубическихъ сантиметровъ равно столькимъ же граммамъ. (Если отмѣривать другую жидкость, то отношеніе будетъ иное—почему?). Простое соотношеніе между единицами объема и вѣса представляетъ новое и большое преимущество метрической системы мѣръ въ различныхъ ея примѣненіяхъ.

Наконецъ съ показаніями термометра надо справляться и при болѣе или менѣе точномъ опредѣленіи относительной плотности тѣлъ. Относительная плотность твердаго или жидкаго тѣла дается (§ 45) отношеніемъ вѣса равныхъ объемовъ тѣла и воды. Но если объемы какого-нибудь тѣла и воды одинаковы при одной температурѣ, то они могутъ быть различны при другой. Слѣдовательно необходимо знать, при какихъ температурахъ предполагаются тѣло и вода.

[1] Въ точномъ, научномъ смыслѣ килограммъ есть единица массы, а не вѣса. Это именно масса нѣкоторой образцовой платиновой гири, хранящейся въ Парижѣ (международный нормальный килограммъ); она чрезвычайно близка къ массѣ кубическаго дециметра чистой воды при температурѣ ея наибольшей плотности, т. е. при 4° Ц. Граммъ есть тысячная доля этой массы—почти точно масса 1 куб. сантиметра воды при 4° Ц. Вѣсъ килограмма и грамма измѣняется съ высотою надъ уровнемъ моря и съ географическою широтою мѣста, а потому можетъ быть принятъ за единину, строго говоря, лишь при условіи точнаго обозначенія мѣста (въ научныхъ сочиненіяхъ обыкновенно принимаютъ уровень моря подъ широтою 45°).

Въ точныхъ справочныхъ таблицахъ то и другое бываетъ указано. Но опять-таки употребленіе точныхъ чиселъ для относ. плотности не вездѣ умѣстно, и часто можно не обращать вниманія на температуру.

Особенно важное значеніе имѣетъ показаніе термометра при опредѣленіи объема (и вѣса единицы объема) газовъ, такъ какъ объемъ газа при нѣкоторомъ данномъ давленіи можетъ сильно измѣняться съ перемѣною температуры [1].

Примѣры температуръ интересныхъ въ томъ или иномъ отношеніи.

155*. Въ заключеніе приводимъ нѣсколько температуръ чѣмъ либо важныхъ или интересныхъ, а также нѣсколько температуръ плавленія и кипѣнія тѣлъ.

Темп. наибольшей плотности воды 3,2° Р. или 4° Ц.

„ зимнихъ жилыхъ помѣщеній 12—16° Р. или по Ц.?

Температура крови взрослаго человѣка въ здоровомъ состояніи около 37½° Ц. (сколько по Р.?) Медицинскіе или врачебные термометры имѣютъ шкалу стоградуснаго термометра. Обыкновенно они дѣлаются укороченными, и на ихъ шкалу наносится только нѣсколько градусовъ (выше и ниже 37° Ц.), раздѣленныхъ на десятыя части. Надо замѣтить, что при обычномъ способѣ ихъ примѣненія они показываютъ температуру не крови, а той части поверхности нашего тѣла, къ которой прикасается резервуаръ термометра, слѣдов. нѣсколько болѣе низкую.

Крайнія температуры воздуха на земной поверхности можно считать около —60° Р. (Верхоянскъ) и +50° Р. (страна туареговъ въ Сахарѣ) [2].

Температура отапливаемыхъ углемъ плавильныхъ печей съ усиленнымъ притокомъ воздуха выше 1000° Р.

Высшая температура, достигаемая нынѣ въ „электрическихъ печахъ“, около 3500° Ц. (сколько будетъ по Р.?) Она примѣрно на 2000° Ц. выше температуры доменныхъ (плавильныхъ) печей, если считать ее около 1500° Ц., т. е. превышаетъ температуру

[1] Вообще надо всегда имѣть въ виду, какъ то уже указано выше (§ 135), что напр. выраженіе: „одинъ куб. футъ воздуха“, само по себѣ, безъ указанія температуры и давленія, не даетъ ровно никакого понятія о количествѣ (вѣсѣ) этого воздуха. Довольствуясь приблизительными, округленными числами, обыкновенно предполагаютъ, если не сдѣлано оговорокъ, что газъ находится подъ давленіемъ, близкимъ къ обыкновенному атмосферному и при комнатной температурѣ. Въ точныхъ же справочныхъ таблицахъ „нормальными“ условіями газа считаются давленіе 76 см. ртутнаго столба и температура 0°.

[2] Въ Петербургѣ низшая отмѣченная за 150 слишкомъ лѣтъ температура была —39° Ц., а высшая +36° Ц.

такихъ печей больше, чѣмъ эта послѣдняя—температуру сильнѣйшаго холода на земной поверхности!

Температура солнца (собственно его поверхности) считается въ 6—7 тысячъ градусовъ (Ц.). Многія звѣзды имѣютъ несомнѣнно еще болѣе высокую температуру.

Низшая нынѣ искусственно достижимая температура почти —270° Ц. (примѣрно на 200° Ц. ниже соотвѣтствующей самому сильному холоду на землѣ). Температура мірового пространства въ значительномъ удаленіи отъ небесныхъ тѣлъ тоже чрезвычайно низка—быть можетъ еще ниже только что названной.

Вотъ нѣсколько примѣровъ температуръ плавленія. Ртуть дѣлается жидкою около — 32° Р., или около — 40° Ц.; при этой же температурѣ (которая не рѣдкость зимою въ сѣверной полосѣ Сибири) жидкая ртуть затвердѣваетъ. Чистый ледъ плавится или таетъ при температурѣ, которую принято обозначать 0°; примѣси (напр. примѣсь обыкновенной соли) болѣе или менѣе понижаютъ температуру плавленія. Желтый пчелиный воскъ плавится около 50° Р. Изъ общеизвѣстныхъ металловъ самый легкоплавкій—олово (плавится около 230° Ц.), а наиболѣе тугоплавкіе — желѣзо (темп. плавл. около 1600° Ц.) и платина (т. пл. около 1800° Ц.); чистая платина только при исключительныхъ условіяхъ можетъ быть расплавлена въ жару, доставляемомъ горѣніемъ угля, но въ электрической печи „таетъ какъ воскъ“.

Приведемъ еще нѣсколько температуръ кипѣнія. Жидкость, получаемая сгущеніемъ углекислаго газа („жидкая углекислота“) кипитъ около 80° Ц. ниже нуля, т. е. около—80° Ц.; обыкновенный эфиръ кипитъ при 35° Ц. (слѣдов. уже отъ согрѣванія рукою); винный спиртъ около 80° Ц.; вода при 100° Ц. или 80° Р.[1] Ртуть кипитъ около 360° Ц., а металлъ цинкъ около 950° Ц. (онъ легко кипитъ въ жару кузнечнаго горна). При достаточно высокихъ температурахъ (электрической печи) могутъ кипѣть и такіе тугоплавкіе металлы, какъ платина[2].

Такъ какъ ртуть затвердѣваетъ около — 32° Р., а кипитъ около 290° Р., то для опредѣленія очень низкихъ и очень высокихъ температуръ ртутный термометръ не годится. Для сильнаго холода отчасти можетъ служить термометръ, содержащій безводный винный спиртъ вмѣсто ртути (подкрашенный спиртъ именно находится въ наружныхъ или уличныхъ термометрахъ). При опредѣленіи же очень высокихъ температуръ, термометрическимъ веществомъ можно взять воздухъ (въ платиновомъ или фарфоровомъ шарикѣ съ трубкою). Но для самыхъ низкихъ и самыхъ высокихъ температуръ, какія нынѣ достигаются искусственно, и эти пріемы не годятся: пользуются другими, которые здѣсь не могутъ быть объяснены.

---

140. *Твердыя* и *жидкія* тѣла производятъ на препятствія, мѣшающія имъ расширяться при нагрѣваніи, гораздо большее давленіе, чѣмъ *газообразныя*. Не связана ли эта разница съ весьма различной *сжимаемостью* тѣхъ и другихъ отъ давленія? (Обратить вниманіе на силу, которая нужна, чтобы нагрѣтое и расширившееся при нагрѣваніи тѣло привести къ его первоначальному объему).—**142**. Что произойдетъ со стеклянной трубкой въ описанномъ опытѣ, если нагрѣваніе пламенемъ будетъ болѣе продолжительное?—**150**. Если бы изъ пространства надъ ртутью въ обыкновенномъ термометрѣ не былъ удаленъ воздухъ, — помѣшало ли бы это ртути расширяться? (Слѣдуетъ имѣть въ виду большую сжимаемость воздуха и ничтожную сжимаемость ртути). Что произошло бы тогда съ термометромъ при достаточномъ повышеніи температуры?—**151**. Если термометръ Реомюра показываетъ 16°, то сколько покажетъ термометръ Цельсія?—Въ одной комнатѣ термометръ Р. показываетъ 12°, въ другой—термометръ Ц. 14°; на сколько градусовъ (по тому и другому термом.) различаются температуры комнатъ?—Температура крови взрослаго человѣка въ здоровомъ состояніи около $37^{1/2}$° Ц.; сколько это будетъ по Р.?—Перевести 184° Р. (темп., при которой плавится олово) на шкалу Ц. — Отчего у разныхъ термометровъ промежутки, соотвѣтствующіе на шкалѣ одному и тому же числу градусовъ (т. е. самые размѣры градусныхъ дѣленій), бываютъ различны?—Градусъ термометра Ц. соотвѣтствуетъ меньшему измѣненію температуры, нежели градусъ Р.; будутъ ли градусныя дѣленія перваго короче, чѣмъ послѣдняго?—**152**. Почему для провѣрки нулевой точки термометра необходимъ именно чистый *тающій* снѣгъ (или ледъ) и не годится мерзлый (сухой)?—**155**. Ртуть тѣло „жидкое“; что же означаетъ выраженіе: ртуть „плавится“ при — 40° Ц.? Когда говорятъ: „ртуть есть жидкость“, то что остается недосказаннымъ?—Въ хорошемъ пламени паяльной лампы, питаемой смѣсью бензинныхъ паровъ съ воздухомъ, тонкій *платиновый волосокъ* замѣтно подплавляется съ конца. Какова приблизительно температура пламени въ его наиболѣе жаркой части?—Желая размягчить толстую стеклянную трубку, подвергаютъ ее дѣйствію сильнаго пламени паяльной лампы не сразу (трубка непремѣнно треснетъ), а разогрѣваютъ сперва въ коптящемъ (свѣтломъ) пламени. Что можно заключить отсюда о температурѣ послѣдняго сравнительно съ температурою слабо-свѣтящаго голубоватаго пламени паяльной лампы? (Перенося трубку изъ паяльнаго пламени въ свѣтлое, коптящее, напр. въ пламя свѣчи, мы тѣмъ самымъ *охлаждаемъ* ее).—Какъ измѣнилось бы

---

[1]

При давленіи:	149 мм.	17,4 мм.	4,6 мм.
темп. кипѣнія воды:	60° Ц.	20° Ц.	0° Ц.

[2] Предлагается температуры, приведенныя выше по Ц., выразить въ градусахъ Р. и наоборотъ. Такъ какъ числа вообще даны приблизительно, то можно округлять и получаемыя послѣ перевода на другую шкалу.

числовое значеніе разныхъ температуръ, если бы „точка замерзанія“ на термометр. шкалѣ была помѣчена не 0, а напр. числомъ 10 или 100? Какому числу градусовъ соотвѣтствовала бы температура плавленія (и затвердѣванія) ртути по шкалѣ Ц., если бы точка замерзанія была помѣчена не 0, а числомъ 40?—На шкалѣ термометра *Фаренгейта* (употребляемаго напр. въ Англіи) „точка замерзанія“ помѣчена числомъ 32, а „точка кипѣнія“ 212, такъ что промежутокъ между ними заключаетъ 180 градусовъ. Сколькимъ градусамъ по Ф. соотвѣтствуетъ комнатная температура въ 16° Р.? *Отв.* Одинъ и тотъ же температурный промежутокъ содержитъ 80° Р. и 180° Ф., т. е. 4° Реомюровой шкалы означаютъ такое же измѣненіе температуры, какъ 9° по Фаренгейту. Итакъ 16° Р. соотвѣтствовали бы $16 \cdot {}^9/_4$, или 36° по Ф., если бы положеніе *нуля* на обѣихъ шкалахъ было одинаково. Но при 0° Р. термометръ Ф. показываетъ 32°; слѣд. 16° Р. будутъ соотвѣтствовать $36 + 32$, или 68° Ф. Наоборотъ, температура напр. въ 59° Ф. $= (59 - 32) \cdot {}^4/_9$, или 12° Р.—Сколькимъ градусамъ по Ф. соотвѣтствуетъ температура крови взрослаго человѣка въ здоровомъ состояніи, т. е. 37,5° Ц.? *Отв.* $37{,}5 \cdot {}^9/_5 + 32 = 99{,}5°$ Ф., или округленно 100° Ф.—Сколько покажетъ термометръ Р., когда ртуть въ термометрѣ Ф. стоитъ на 0°? *Отв.*—$14^2/_9$° Р.—Перевести на шкалу Ф. температуру затвердѣванія ртути, т. е.—40° Ц. *Отв.* Численное значеніе температуры то же самое, т. е.—40° Ф. [1]

X.

Раствореніе твердыхъ тѣлъ въ жидкостяхъ. Вода какъ растворитель.

156. Соль и сахаръ, облитые водою, р а с т в о р я ю т с я въ ней, т. е. проникаютъ въ воду и образуютъ съ нею одно

[1] Приведенные примѣры показываютъ, въ какой мѣрѣ *числовое значеніе* температуры зависитъ отъ устройства термометрической шкалы. Какъ и въ другихъ подобныхъ случаяхъ, нужна извѣстная привычка, чтобы сразу „понимать“ значеніе числовыхъ данныхъ. По комнатному термометру съ *Фаренгейтовой* шкалой 59° означало бы, что не лишне затопить печь. Температура 96°, показываемая термометромъ Ф. при тѣсномъ соприкосновеніи съ нашимъ тѣломъ, свидѣтельствовала бы о *необычайно низкой* температурѣ организма. *Нуль* шкалы Ф. соотвѣтствуетъ—$14^2/_9$ Р., т. е. слишкомъ 14° „мороза“; въ Лондонѣ (гдѣ вообще рѣдки сильные морозы) паденіе температуры *ниже нуля* (т. е. ниже 0° Ф.) составляетъ чуть не событіе, тогда какъ при шкалѣ *Реомюра* на пониженіе температуры съ—14° до—15° тамъ конечно никто не обратилъ бы вниманія.

цѣлое, въ которомъ мы только по вкусу откроемъ присутствіе соли и сахара: ни въ какой микроскопъ мы не увидѣли бы въ растворѣ соляныхъ или сахарныхъ частицъ. Подобнымъ же образомъ измѣняются и многія другія твердыя тѣла въ соприкосновеніи съ жидкостями: они сами переходятъ въ жидкое состояніе. Явленія эти представляютъ большое разнообразіе. Поваренная соль легко растворяется въ водѣ, но нерастворима въ безводномъ винномъ спиртѣ. Стеаринъ нерастворимъ въ водѣ, но легко растворяется въ спиртѣ. Обыкновенная (желтая) сѣра, нерастворяющаяся въ водѣ и едва растворимая въ безводномъ спиртѣ, хорошо растворяется въ нѣкоторыхъ другихъ жидкостяхъ. И т. п. Разсмотримъ ближе нѣсколько примѣровъ растворенія твердыхъ тѣлъ въ водѣ, какъ самомъ обыкновенномъ и важномъ растворителѣ. (Кромѣ воды, растворителями часто служатъ еще спиртъ, эфиръ, бензинъ и др.). Для перваго примѣра возьмемъ обыкновенную (поваренную или кухонную) соль.

157*. Взбалтывая соль съ водою въ склянкѣ, мы видимъ, что соль сперва какъ бы исчезаетъ; но потомъ количество ея перестанетъ уменьшаться, какъ бы долго ни длилось взбалтываніе. Полученный растворъ обыкновенно бываетъ мутенъ отъ примѣшанныхъ къ соли нерастворяющихся въ водѣ постороннихъ тѣлъ (между прочимъ конечно пыли). Для отдѣленія отъ нихъ жидкость процѣживаютъ сквозь бусквакистыя (пористыя) тѣла, напр. чрезъ пропускную бумагу: сквозь скважины бумаги проходитъ вмѣстѣ съ жидкостью только то, что въ ней „растворено“.

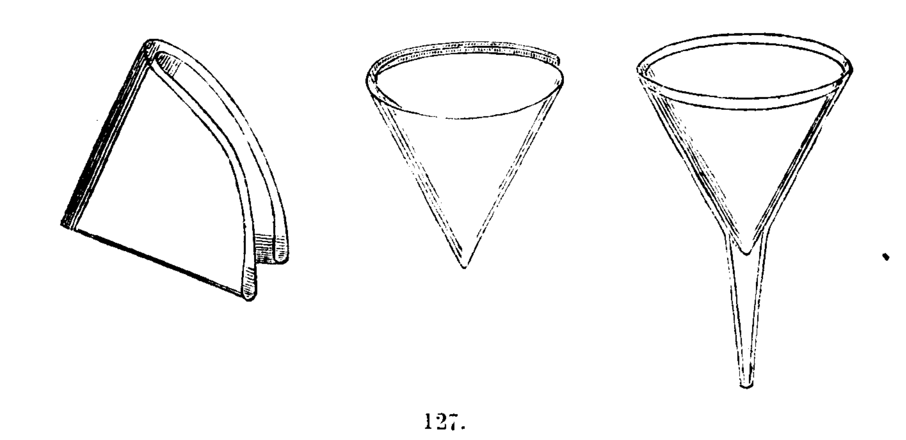
Процѣживаніе или ф и л ь т р о в а н і е сквозь пропускную бумагу дѣлается такъ. Сложивъ квадратный кусокъ бумаги вчетверо, обрѣзаютъ его ножницами по дугѣ круга и затѣмъ расправляютъ (см. рис. 127): получается родъ бумажной воронки. Такой фильтръ вкладываютъ въ стеклянную воронку (края бумаги не должны выставляться надъ краями воронки), смачиваютъ водою и, давъ водѣ стечь, наливаютъ растворъ. Иногда жидкость проходитъ еще мутною; тогда ее процѣживаютъ вторично.

Обратимъ вниманіе на слѣдующія важныя особенности, характеризующія раствореніе.

1) Извѣстно, что взбалтываніе (размѣшиваніе) очень уско-

ряетъ раствореніе. Но оно не составляетъ необходимаго условія. Опытъ показываетъ, что соль сама собою, хотя и очень медленно, проникаетъ въ воду и мало по малу распредѣляется въ ней совершенно равномѣрно.

2) Если оставимъ соляной растворъ стоять въ плотно закупоренной склянкѣ, то соль не осядетъ изъ него, сколько бы времени ни стояла жидкость, — хотя соль сама по себѣ слишкомъ вдвое тяжелѣе воды. Чтобы соль выдѣ-



127.

лилась, надо дать бо́льшему или меньшему количеству воды испариться.

3) Въ стаканѣ воды, какъ извѣстно, можно растворить не болѣе нѣкотораго опредѣленнаго количества соли, послѣ чего соль перестанетъ растворяться. Тогда говорятъ, что вода „насыщена“ солью, а самый растворъ называютъ насыщеннымъ. Однако, чтобы получить дѣйствительно насыщенный растворъ, нужно взбалтывать соль съ водою довольно долго, потому что она растворяется тѣмъ медленѣе, чѣмъ ближе растворъ къ состоянію насыщенія.

158*. Вторымъ примѣромъ послужитъ синее кристаллическое вещество, называемое въ продажѣ синимъ или мѣднымъ купоросомъ. Растворяя его въ водѣ холодной и теплой, мы найдемъ значительную разницу въ количествѣ купороса, необходимаго для насыщенія взятаго количества воды: вода растворяетъ его тѣмъ больше, чѣмъ она теплѣе. Слѣдовательно составъ насыщеннаго раствора мѣднаго купороса измѣняется съ температурою. Напр. въ 100

частяхъ по вѣсу воды можетъ раствориться при комнатной температурѣ около 40 ч., а при 80° Р. или 100° Ц.—около 200 ч. купороса, т. е. въ 5 разъ больше. Растворимость мѣднаго купороса сильно возрастаетъ съ повышеніемъ температуры.

Увеличеніе растворимости твердыхъ тѣлъ въ жидкостяхъ съ повышеніемъ температуры—явленіе очень обыкновенное; каждый имѣлъ случай наблюдать его на раствореніи сахара въ водѣ. Обыковенная соль не составляетъ исключенія изъ этого почти общаго правила; но разница въ ея растворимости такъ незначительна (въ 100 вѣс. ч. холодной воды растворяется около 36 ч. соли, а при 100° Ц. около 40 ч.), что обыкновенно ускользаетъ отъ нашего вниманія.

159. Третій примѣръ. Взболтаемъ съ водою нѣсколько гашеной извести. Количество извести не уменьшится замѣтнымъ образомъ. Но если, давъ извести осѣсть на дно, попробуемъ отстоявшуюся прозрачную жидкость на вкусъ, то убѣдимся, что въ ней есть нѣчто постороннее. Испаривъ нѣсколько капель жидкости надъ пламенемъ на чистой жестяной пластинкѣ, получимъ бѣлый остатокъ. Небольшое количество извести именно растворилось въ водѣ. Припомнимъ здѣсь еще отношеніе известковой воды къ углекислому газу (см. пробу на углекислый газъ въ § 15).

160. Растворимость твердыхъ тѣлъ въ водѣ чрезвычайно различна. Напримѣръ сахаръ очень растворимъ въ водѣ, особенно горячей. Съ другой стороны, для растворенія одной вѣс. части извести и гипса требуется нѣсколько сотъ частей воды; наконецъ извѣстны вещества, вполнѣ растворяющіяся лишь въ сотняхъ тысячъ ч. воды. Отъ тѣлъ хорошо растворимыхъ въ водѣ къ такимъ, которыя можно считать нерастворимыми въ ней, переходъ очень постепенный. Надо впрочемъ замѣтить, что тѣлъ совершенно нерастворимыхъ въ водѣ сравнительно немного[1].

Какъ узнать, растворимо тѣло въ водѣ или

[1] Обыкновенное стекло, вопреки общераспространенному мнѣнію, нѣсколько подвергается дѣйствію воды. Въ водѣ, долго сохранявшейся въ стеклянномъ сосудѣ, можно обнаружить присутствіе нѣкоторыхъ составныхъ частей стекла. Самая поверхность стекла замѣтно измѣ- няется отъ долгаго соприкосновенія съ водою (отсюда радужные цвѣта старыхъ оконныхъ стеколъ).

нѣтъ, если это незамѣтно прямо по уменьшенію его количества при продолжительномъ взбалтываніи съ водою? Обыкновенно пользуются пріемомъ, который понятенъ изъ нашего третьяго примѣра (§ 159). Нѣсколько капель хорошо отстоявшейся (или процѣженной) вполнѣ прозрачной жидкости испаряютъ на чистомъ часовомъ стеклѣ (лучше — на платиновой пластинкѣ); если получится остатокъ — обыкновенно въ видѣ бѣлаго пятна — то значитъ нѣкоторое количество вещества растворилось. Для такой пробы конечно надо имѣть воду, освобожденную отъ всякихъ растворенныхъ и примѣшанныхъ къ ней тѣлъ. Природная вода здѣсь не годится: берутъ такъ называемую перегнанную или дестиллированную воду (см. ниже, § 166).

161. Растворенное въ жидкости твердое тѣло выдѣляется изъ раствора при испареніи жидкости (при кипяченіи всего быстрѣе) или при охлажденіи раствора. Количество выдѣляющагося въ послѣднемъ случаѣ вещества зависитъ конечно отъ „крѣпости" раствора и степени охлажденія. Если напр. горячій растворъ мѣднаго купороса содержалъ 100 гр. купороса на 100 гр. воды и былъ охлажденъ до комнатной температуры, то въ немъ можетъ остаться растворённымъ лишь около 40 гр. купороса,—остальное выдѣлится. Очевидно, что жидкость, оставшаяся теперь по выдѣленіи всего „избытка" купороса, есть насыщенный при комнатной температурѣ растворъ его. Такимъ пріемомъ обыкновенно и пользуются для полученія насыщеннаго при той или другой температурѣ раствора.

162*. Сопоставимъ теперь важнѣйшіе признаки, которыми такъ наз. растворенiе твердаго тѣла въ жидкости отличается отъ простого смѣшиванія съ нею мелкораздробленнаго тѣла. (Для сравненія могутъ служить растворъ соли въ водѣ и смѣсь глины съ водою). 1) Частички твердаго тѣла „смѣшиваются" съ жидкостью не сами собою, а только при взбалтываніи или размѣшиваніи; иначе онѣ или остаются на днѣ, если онѣ тяжелѣе жидкости, или всплываютъ, если легче. Послѣ взбалтыванія, частички мутятъ жидкость, но, спустя большее или меньшее время, сами отдѣляются отъ нея, либо осаждаясь на дно, либо всплывая: жидкость отстаивается. 2) Твердое тѣло, смѣшиваясь съ жидкостью, остается твердымъ, и частички его можно разсмотрѣть въ смѣси, пользуясь микроскопомъ. 3) Смѣшивать мелко-раздробленное тѣло съ жидкостью можно въ какомъ угодно отношеніи.

Наконецъ 4) существованіе тѣлъ, нерастворяющихся въ нѣкоторыхъ жидкостяхъ, указываетъ намъ и еще на одну отличительную черту между раствореніемъ и смѣшиваніемъ. Всякое мелко-раздробленное тѣло можно смѣшать со всякою жидкостью; но не всякое тѣло растворяется въ любой взятой нами жидкости.

Изъ этого сравненія видно, что между смѣшиваніемъ мелко-раздробленнаго твердаго тѣла съ жидкостью и раствореніемъ твердаго тѣла въ жидкости существуетъ большое различіе. Растворяясь, твердое тѣло переходитъ въ жидкое состояніе и проникаетъ (диффундируетъ, § 138) въ жидкость, служащую растворителемъ. Мы имѣемъ здѣсь любопытный примѣръ того, что „состояніе" тѣла можетъ измѣняться при соприкосновеніи его съ другимъ. Въ присутствіи жидкости, служащей растворителемъ, твердое тѣло становится жидкимъ при температурѣ гораздо низшей, чѣмъ та, при которой оно плавится.

Вода какъ растворитель.

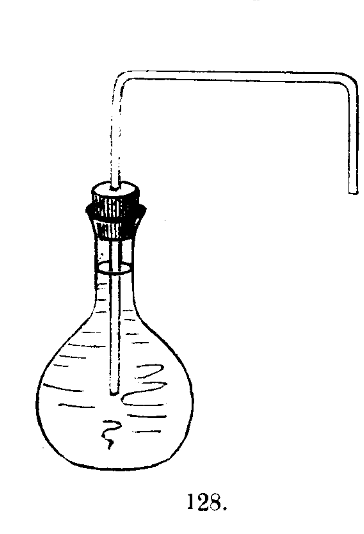
163. Нѣкоторыя жидкости также растворяются въ водѣ. При взбалтываніи эфира съ водою небольшое количество его растворяется въ водѣ, что очень замѣтно по пріобрѣтаемому водою эфирному запаху.

Обыкновенно и здѣсь количество жидкости, растворяющейся въ водѣ, имѣетъ границу (раствореніе до насыщенія). Но извѣстны примѣры жидкостей, которыя смѣшиваются съ водою въ любомъ отношеніи. Таковъ винный спиртъ. Въ подобныхъ случаяхъ очевидно исчезаетъ различіе между „растворяющимся" тѣломъ и „растворителемъ".

164*. Поглощеніе газовъ водою. Многіе газы способны проникать въ воду — растворяться въ ней. Напр. вода, служащая для питья, всегда содержитъ въ себѣ большее или меньшее количество воздуха [1], и его присутствіе

[1] Правильнѣе—газовъ воздуха, такъ какъ самый воздухъ есть смѣсь многихъ газовъ.

въ водѣ необходимо, чтобы она была прiятна для питья (извѣстно, какой непрiятный „вкусъ“ имѣетъ свѣже-прокипяченная вода, въ которую еще не успѣлъ проникнуть воздухъ). Если воду, взятую изъ подъ крана водопровода, оставить стоять въ открытомъ стаканѣ, то часть воздуха изъ нея выдѣляется,—это замѣтно по осѣдающимъ на стѣнкахъ стакана пузырькамъ. При нагрѣванiи воды выдѣленiе воздуха происходитъ гораздо быстрѣе; это даетъ намъ простой способъ приблизительно судить о количествѣ воздуха, обыкновенно находящагося въ водѣ. Нагрѣемъ свѣжую воду (взятую прямо изъ водопровода или колодца) въ колбѣ съ плотно приложенной къ ней колѣнчатой трубкою, одинъ конецъ которой доходилъ бы приблизительно до средины колбы; колбу наполнимъ водою до самой пробки. По мѣрѣ нагрѣванiя, выдѣляющiйся изъ воды воздухъ собирается въ горлѣ колбы, а вода вытѣсняется чрезъ колѣнчатую трубку. Нагрѣвъ воду почти до кипѣнiя, мы получимъ надъ нею довольно значительный объемъ воздуха (рис. 128).—Растворенный въ водѣ воздухъ выдѣляется изъ нея также при уменьшенiи атмосфернаго давленiя (см. опыты съ воздушнымъ насосомъ, § 63).



128.

Въ бо̀льшемъ количествѣ поглощается водою углекислый газъ. Раствоpенiе его легко наблюдать, сильно взбалтывая углекислый газъ съ водою въ закупоренной склянкѣ (взбалтыванiе ускоряетъ поглощенiе): если послѣ того опустить горло склянки въ воду и откупорить ее подъ водою, то нѣкоторое количество воды войдетъ въ склянку. Вода при обыкновенной температурѣ растворяетъ приблизительно равный себѣ объемъ углекислаго газа. Усиливая давленiе, т. е. сжимая газъ, можно значительно увеличить количество растворяющагося въ ней газа. Тогда при обыкновенномъ атмосферномъ давленiи газъ будетъ съ шипѣнiемъ выдѣляться изъ раствора (шипучiя воды, газированное молоко и пр.)[1]. — При нагрѣванiи углекислый газъ выдѣляется изъ воды подобно воздуху (и большинству другихъ газовъ).

Есть газы еще гораздо болѣе растворимые въ водѣ. Напр. всѣмъ извѣстный „нашатырный спиртъ“ есть водный растворъ газа (амміака), который поглощается водою при температурѣ 0° въ количествѣ около 1000 объемовъ на каждый объемъ воды. Соляная кислота, которою мы не разъ пользовались (см. напр. § 14), есть тоже водный растворъ очень сильно поглощаемаго водою газа.

165. Вода въ природѣ. Вода, считаемая „чистою“ въ обыденной жизни, годная для питья, содержитъ не мало постороннихъ веществъ; присутствiе нѣкоторыхъ изъ нихъ, въ извѣстныхъ границахъ, даже необходимо для того, чтобы вода могла считаться „хорошею“.

Важнѣйшiя постороннiя вещества, которыя содержатся почти во всякой водѣ, слѣдующiя:

1) Мелкiя частички твердыхъ тѣлъ, взвѣшенныя въ ней, какъ пыль въ воздухѣ. Обыкновенно не трудно увидѣть въ водѣ такiя частички даже простымъ глазомъ, смотря чрезъ слой воды на свѣтъ; находясь въ значительномъ количествѣ, онѣ дѣлаютъ воду мутной. Это чаще всего или мельчайшiе остатки растительныхъ и животныхъ веществъ, или глина.

2) Вещества, растворенныя въ водѣ. Присутствiе ихъ иногда можетъ обнаруживаться постороннимъ вкусомъ, не свойственнымъ хорошей водѣ (горько-соленый вкусъ морской воды; особенный непрiятный вкусъ сильно известковой, жесткой воды). Если количество растворенныхъ въ водѣ веществъ незначительно, то обнаружить ихъ все же не трудно, выпаривая нѣсколько воды въ чашкѣ: послѣ удаленiя воды получится больше или меньше твердаго остатка. Въ маломъ видѣ проба удобно производится испаренiемъ небольшого количества воды на стеклянной или, лучше, платиновой пластинкѣ, какъ упомянуто выше. (Платину берутъ по-

[1] То же случается съ воздухомъ, который былъ растворенъ въ водѣ подъ давленiемъ бо̀льшимъ атмосфернаго (какъ и со многими другими газами). Вода, только что взятая изъ водопровода, гдѣ она находилась подъ значительнымъ давленiемъ, иногда имѣетъ молочный видъ и шипитъ подобно содовой; но чрезъ нѣкоторое время, когда выдѣлится избытокъ воздуха, она снова дѣлается прозрачною.

тому, что это металлъ, нисколько не измѣняющійся при нагрѣваніи ни отъ воды, ни отъ воздуха, и можно быть увѣреннымъ, что отъ платины ничего не перейдетъ къ испытуемой водѣ).

Случается, что вода бываетъ окрашена; это зависитъ отъ растворенныхъ въ ней красящихъ веществъ растительнаго или животнаго происхожденія.

3) Наконецъ вода обыкновенно содержитъ въ растворѣ газы воздуха, о чемъ уже было сказано выше (§ 164). Продолжительнымъ кипяченіемъ можно вполнѣ изгнать ихъ изъ воды.—Газы, растворенные въ водѣ, придаютъ ей иногда особый запахъ (болотная вода, сѣрныя воды). Всѣ эти постороннія вещества конечно берутся изъ тѣхъ многочисленныхъ тѣлъ, съ которыми природная вода приходитъ въ соприкосновеніе. Они болѣе или менѣе вліяютъ на свойства воды — дѣлаютъ то, что одну воду можно отличить отъ другой.

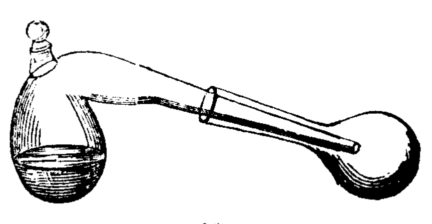
Напримѣръ относительная плотность воды, содержащей въ растворѣ твердыя вещества, бываетъ больше, чѣмъ чистой воды, и чѣмъ бóльшее количество растворено, тѣмъ болѣе плотность раствора будетъ уклоняться отъ плотности чистой воды. Такъ отн. плотн. воды океановъ около 1,03, а насыщеннаго раствора обыкновенной соли около 1,2 (свѣжее куриное яйцо, тонущее въ чистой водѣ, плаваетъ въ крѣпкомъ растворѣ соли).

Температура, при которой вода переходитъ въ твердое состояніе, т. е. замерзаетъ, въ значительной степени зависитъ отъ того, какое количество твердыхъ веществъ въ ней растворено. Морская вода напр. замерзаетъ только при охлажденіи на нѣсколько градусовъ ниже 0°.

Температура закипанія воды, содержащей въ растворѣ твердыя вещества, бываетъ выше точки кипѣнія чистой воды. Если опустить шарикъ термометра въ кипящій растворъ обыкновенной соли, то термометръ покажетъ больше 100° Ц. (температура кипѣнія чистой воды) и, по мѣрѣ укипанія воды, слѣдов. по мѣрѣ того, какъ растворъ дѣлается крѣпче, можетъ дойти до 108° Ц.

Присутствіе въ водѣ растворенныхъ газовъ также производитъ нѣкоторыя измѣненія въ отн. плотности, точкѣ замерзанія и точкѣ кипѣнія воды.

166*. Чтобы очистить воду, нерастворенныя въ ней твердыя частицы отдѣляютъ процѣживаніемъ, фильтрованіемъ, чрезъ пропускную бумагу или другія пористыя тѣла. Но такъ нельзя удалить изъ воды растворенныхъ въ ней твердыхъ тѣлъ. Это достигается перегонкой, т. е. превращеніемъ воды въ паръ посредствомъ нагрѣванія и охлажденіемъ паровъ въ особомъ чистомъ пріемникѣ. При температурѣ кипѣнія воды растворенныя въ ней обыкновенно твердыя тѣла еще не переходятъ въ паръ и остаются въ томъ сосудѣ, въ которомъ кипятятъ воду. Въ маломъ видѣ перегонка удобно производится въ стеклянной „ретортѣ“, горло которой вложено въ горло стекляннаго пріемника, охлаждаемаго водою (рис. 129). Въ пріемникѣ собирается перегнанная или „дестиллированная“ вода.



129.

Итакъ жидкость, называемая „чистой водою“ въ повседневной жизни, по отдѣленіи отъ нея твердыхъ частичекъ путемъ процѣживанія, въ сущности представляетъ изъ себя очень разведенный водный растворъ—притомъ весьма сложнаго состава. „Одну“ воду отъ „другой“ мы отличаемъ именно благодаря присутствію въ водѣ тѣхъ или другихъ постороннихъ веществъ, въ тѣхъ или иныхъ количествахъ. Чистая вода въ точномъ (научномъ) значеніи этого слова существуетъ только одна. Другими словами, совершенно чистая вода имѣетъ, при одинхъ и тѣхъ же условіяхъ, всегда одни и тѣ же свойства. Надо замѣтить, что полученіе такой воды сопряжено съ большими трудностями [1].

[1] Полезно имѣть въ виду, что сказанное здѣсь о чистой водѣ относится и къ другимъ тѣламъ. Постоянныхъ физическихъ признаковъ можно ожидать только отъ тѣла, освобожденнаго отъ всякихъ постороннихъ веществъ. Такъ какъ обыкновенно этого не бываетъ (матеріалы, называемые „химически-чистыми“ въ продажѣ, очень часто не заслуживаютъ этого имени), то прежде, чѣмъ опредѣлять относ. плотность, температуру плавленія, кипѣнія и пр., тѣло должно быть тщательно „очищено“. Но нѣтъ конечно надобности быть очень требовательнымъ тогда, когда дѣло идетъ лишь о приблизительныхъ, округленныхъ числахъ.

Кристаллизація путемъ растворенія.

167. Выдѣляясь изъ раствора, твердыя тѣла большею частью принимаютъ кристаллическую форму, и раствореніе служитъ наиболѣе обыкновеннымъ и удобнымъ средствомъ для кристаллизаціи.

Чтобы получить кристаллы поваренной соли, оставляютъ стоять насыщенный при обыкновенной температурѣ и процѣженный растворъ въ спокойномъ мѣстѣ, защитивъ его отъ пыли покрышкой изъ пропускной бумаги.—Для кристализаціи мѣднаго купороса пользуются его различною растворимостью въ холодной и горячей водѣ. Растворивъ купоросъ въ такомъ количествѣ горячей воды, чтобы часть его могла выдѣлиться при охлажденіи до комнатной температуры, даютъ раствору остыть медленно и спокойно. На днѣ сосуда получаются очень красивые на видъ кристаллы мѣднаго купороса, имѣющіе довольно сложную геометрическую форму.

Главныя условія образованія крупныхъ кристалловъ—спокойное состояніе жидкости и медленное выдѣленіе раствореннаго тѣла. Послѣднее достигается или очень медленнымъ охлажденіемъ (напр. на химическихъ заводахъ, гдѣ кристаллизуютъ за одинъ разъ большія количества тѣла, и чанъ съ растворомъ охлаждается самъ собою весьма медленно), или тѣмъ, что берутъ теплый растворъ не очень крѣпкимъ. (Напр. можно получить хорошіе кристаллы мѣднаго купороса, если растворить 100 гр. его въ 200 гр. горячей воды и, процѣдивъ горячій растворъ сквозь пропускную бумагу въ фарфоровую чашку, оставить на день въ спокойномъ мѣстѣ). Въ обоихъ случаяхъ, благодаря медленному выдѣленію, частички тѣла менѣе тѣснятъ другъ друга, и образованіе кристалловъ происходитъ свободнѣе. — Если выдѣленіе происходитъ быстро и съ перемѣшиваніемъ жидкости, то получается болѣе или менѣе мелкій кристаллическій порошокъ, состоящій главн. обр. изъ кристаллическихъ обломковъ. (Кипятить процѣженный растворъ обыкновенной соли).

Какимъ образомъ раствореніе примѣняется для разъединенія составныхъ частей нѣкоторыхъ смѣсей.

168. Изъ смѣси нѣсколькихъ тѣлъ другъ съ другомъ очень часто можно выдѣлить составныя части, пользуясь растворимостью въ водѣ однѣхъ и нерастворимостью другихъ или, говоря вообще, различной растворимостью составныхъ частей въ разныхъ жидкостяхъ.

Смѣсь столовой соли съ пескомъ легко раздѣлить или „разложить“ на составныя части водою, которая растворитъ соль, оставивъ песокъ. Когда надо разъединить то и другое начисто, конечно нельзя ограничиться однократнымъ дѣйствіемъ воды, потому что остающійся песокъ пропитанъ растворомъ соли: его „промываютъ“ водою нѣсколько разъ. Выпаривъ полученный растворъ, можно получить всю соль въ твердомъ видѣ.

Такимъ способомъ напр. легко очистить отъ нѣкоторыхъ примѣсей обыкновенную (сѣрую) кухонную соль. Примѣси—въ видѣ грязнаго осадка—остаются на цѣдилкѣ (фильтръ, см. § 157). По испареніи процѣженнаго раствора кипяченіемъ, получаютъ снѣжно-бѣлую массу очищенной соли. Столовая соль именно такимъ путемъ приготовляется изъ менѣе чистыхъ сортовъ соли. На томъ же основывается очищеніе или „раффинировка“ сахара.

Возьмемъ еще растительную краску, называемую лакмусомъ (она имѣется въ продажѣ въ видѣ мелкихъ кусочковъ похожихъ на синьку), обольемъ ее горячей водою и, продолжая подогрѣваніе, будемъ размѣшивать массу. Послѣ процѣживанія получится жидкость густого фіолетово-синяго цвѣта—растворъ красящаго вещества, содержащагося въ продажномъ лакмусѣ; на фильтрѣ остаются нерастворяющіяся его части. Лакмусовый растворъ пригодится намъ ниже.

Подобные пріемы очень часто примѣняются въ заводской и лабораторной практикѣ для разложенія смѣсей и для извлеченія изъ нихъ тѣхъ или иныхъ полезныхъ составныхъ частей.

Однородныя и неоднородныя тѣла.

169*. Чистые сахаръ и соль, чистая вода, стекло, желѣзо, мѣдь и мн. др. — общеизвѣстные примѣры тѣлъ, малѣйшая частичка которыхъ представляетъ то же, что и цѣлое. Такія тѣла мы вообще называемъ однородными. Напротивъ, разсматривая напр. кусокъ гранита (гранитнаго булыжника), легко замѣтить, что части его имѣютъ неодинаковую внѣшность. Обыкновенно можно замѣтить куски трехъ родовъ. Эти куски отличаются другъ отъ друга не только по цвѣту, блеску, степени прозрачности, но и твердостью, отн. плотностью,—словомъ, цѣлымъ рядомъ признаковъ, въ чемъ можно убѣдиться, разбивая гранитъ и изслѣдуя каждую изъ его разнородныхъ частей отдѣльно. Гранитъ—тѣло неоднородное, неоднородная смѣсь нѣсколькихъ тѣлъ.

То же можно сказать о множествѣ природныхъ тѣлъ. Внимательное разсматриваніе (простымъ глазомъ или въ микроскопъ) покажетъ намъ, что бо́льшая часть минераловъ, любой органъ растенія или животнаго—тѣла, сложенныя изъ другихъ, тѣла неоднородныя.

Искусственно смѣшивать между собою мы можемъ разнообразнѣйшія тѣла. Твердыя тѣла обыкновенно смѣшиваютъ, превративъ ихъ въ болѣе или менѣе мелкій порошокъ. Такъ черный огнестрѣльный порохъ — тщательная смѣсь селитры, сѣры и угля. Жидкости могутъ быть смѣшиваемы и съ твердыми тѣлами, и между собою. Вода, взболтанная съ глиною, образуетъ мутную жидкость, изъ которой, по истеченіи достаточнаго времени, глина осаждается на дно. Сильнымъ взбалтываніемъ воды съ деревяннымъ масломъ можно получить жидкость однообразную съ виду; но разсматриваніе ея въ микроскопъ показало бы намъ, что это вода, въ которой плаваютъ мельчайшіе масляные шарики. Такая (неоднородная) смѣсь жидкостей называется „эмульсіей“; по истеченіи бо́льшаго или меньшаго времени масло отдѣляется отъ воды и всплываетъ.

Но многія тѣла, какъ мы видѣли, могутъ при взаимномъ соприкосновеніи сами проникать другъ въ друга, образуя однородное цѣлое. Такъ именно происходятъ

растворы твердыхъ тѣлъ въ жидкостяхъ, однородныя смѣси жидкостей, газовыя смѣси (гл. VIII, § 138).

Эти примѣры показываютъ намъ, что тѣло можетъ быть однороднымъ, будучи въ то же время сложнымъ. Спрашивается, не сложны ли и такія однородныя тѣла, какъ вода, металлы, сахаръ, соль? Отвѣтъ на этотъ вопросъ мы получимъ, познакомившись въ слѣдующей главѣ съ такъ называемыми химическими превращеніями тѣлъ.

---

157. При опредѣленіи объема обыкновенной *соли* чрезъ вытѣсненіе жидкости (гл. II, § 23), вода могла бы оказаться непригодною, такъ какъ растворяетъ соль. Нельзя ли воспользоваться воднымъ растворомъ, и какимъ именно?—**158**. Въ 100 вѣс. ч. воды растворяется около 15 в. ч. обыкновенныхъ *квасцовъ* при комнатной температурѣ и около 360 ч. при 100° Ц. Если *насыщенный* при 100° растворъ, содержащій 1 фунтъ квасцовъ, охладится до комнатной температуры, то сколько золотниковъ вещества выдѣлится изъ раствора? *Отв.* 92.—Если приготовить горячій насыщенный растворъ обыкновенной соли и (процѣдивъ) дать ему остыть, то замѣтное количество соли осядетъ изъ раствора. На что это указываетъ?—**162**. Можно ли считать правильнымъ употребляемое иногда выраженіе: „растворить“ глину въ водѣ? Почему?—**164**. Почему въ такъ называемой отварной водѣ, и именно свѣже-приготовленной, рыба быстро погибаетъ?—**166**. Очистка воды перегонкою основана на сравнительно малой летучести обычно растворенныхъ въ ней тѣлъ. Но этотъ способъ примѣнимъ во множествѣ сходныхъ случаевъ. Выше было упомянуто (§ 155), что *цинкъ* легко кипитъ въ жару кузнечнаго горна. Какимъ образомъ можно очистить продажный цинкъ отъ примѣшанныхъ къ нему менѣе летучихъ металловъ?—**169**. Обыкновенный кварцевый песокъ состоитъ главнымъ образомъ изъ крупинокъ *кварца* и частичекъ *глины*; послѣднія гораздо мельче и послѣ взбалтыванія песку съ водою дольше остаются взвѣшенными въ ней (мутятъ воду), чѣмъ кварцевыя крупинки. Какъ, пользуясь этимъ, отдѣлить въ пескѣ глину отъ кварца? („Отмучиваніе“).— Нѣтъ ли другихъ подобныхъ примѣровъ? (Промывка золотоноснаго песку).— Чѣмъ можно отдѣлить *селитру* отъ двухъ другихъ составныхъ частей чернаго пороха: угля и сѣры?—Обыкновенно можно *съ одного взгляда* отличить „растворъ“ твердаго тѣла въ водѣ отъ „смѣси“ тѣла съ водою: по какому именно внѣшнему признаку? (См. § 162).— Есть ли молоко однородная жидкость? (При разсматриваніи въ микроскопъ, капля молока является водянистою жидкостью, въ которой плаваютъ мелкіе жировые шарики). Что происходитъ съ жировыми частями молока послѣ того, какъ оно постоитъ достаточное время спокойно? (Образованіе сливокъ).

XI.

Химическія измѣненія тѣлъ. Тѣла простыя и химически-сложныя (химическія соединенія). Горѣніе.

Примѣры химическихъ превращеній.

170. Вода, превращаясь въ ледъ и паръ, пріобрѣтаетъ нѣкоторыя новыя свойства и утрачиваетъ нѣкоторыя прежнія, т. е. измѣняется, но все же остается „водою“: мы именно говоримъ, что вода лишь переходитъ изъ одного „состоянія“ въ другое. Когда соль растворяется въ водѣ, она переходитъ изъ твердаго состоянія въ жидкое, но остается солью и снова можетъ быть получена со всѣми прежними свойствами, если дать водѣ испариться. Но при извѣстныхъ условіяхъ съ тѣлами могутъ происходить и гораздо болѣе глубокія измѣненія, какъ показываютъ слѣдующіе примѣры.

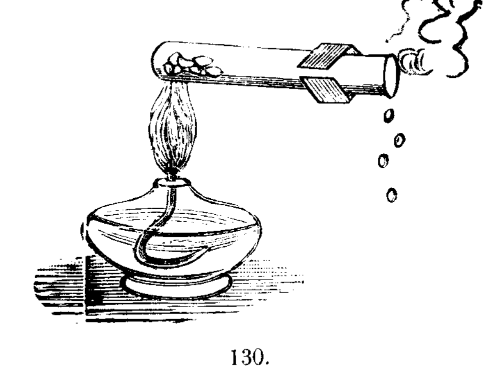
1) Въ огнѣ кузнечнаго горна желѣзо покрывается съ поверхности чернымъ хрупкимъ веществомъ (желѣзной окàлиной), которое отскакиваетъ отъ него при ударахъ молотка. Если чистую мѣдную пластинку нагрѣемъ на огнѣ, то и она почернѣетъ вслѣдствіе образованія окàлины черняго цвѣта (мѣдной окалины). Полоска легкаго металла магнія, внесенная въ пламя свѣчи, загорается и горитъ ослѣпительно-ярко, превращаясь въ бѣлую порошкообразную окалину (магнезію). Въ пламени паяльной лампы легко сжечь кусочекъ цинка, превращающагося также въ окалину бѣлаго цвѣта.

2) Нагрѣемъ на огнѣ, въ фарфоровой чашечкѣ, нѣсколько синихъ кристалловъ мѣднаго купороса [1]. Спустя нѣкоторое время, кристаллы побѣлѣютъ и мало по малу превратятся въ рыхлое вещество, съ виду похожее на мѣлъ. Давъ этому

[1] Это вещество уже упоминалось выше (см. раствореніе и кристаллизацію, §§ 158 и 167).

веществу охладиться, мы не получимъ прежнихъ синихъ кристалловъ: синій купоросъ превратился въ какое то другое вещество.

Оказывается, что кристаллы купороса выдѣляютъ при этомъ превращеніи много воды, которую частью можно собрать, если не дать водянымъ парамъ разсѣеваться въ воздухѣ. Стóитъ лишь нагрѣть нѣсколько кристалловъ напр. въ пробиркѣ, держа ее отверстіемъ немного книзу, рис. 130 (чтобы вода не стекала обратно въ горячую часть пробирки). Изъ отверстія станутъ въ изобиліи выходить водяные пары и капать вода.



130.

Обратно, если бѣлое вещество, по его охлажденіи, полить водою, то оно тотчасъ принимаетъ свѣтло-голубой цвѣтъ, свойственный истертому въ мелкій порошокъ синему купоросу, и при этомъ весьма значительно разогрѣвается. Растворивъ образовавшееся такимъ образомъ голубое тѣло въ небольшомъ количествѣ горячей воды и давъ раствору спокойно охладиться, можно получить купоросъ въ извѣстныхъ уже намъ синихъ кристаллахъ.

3) Цинкъ и разведенная водою сѣрная кислота выдѣляютъ водородъ (см. добываніе этого газа, § 16) и мало по малу расходуются, а изъ оставшейся жидкости мы можемъ извлечь новое тѣло, бѣлый кристаллическій порошокъ — съ виду напоминающій тогда обыкновенную соль — такъ называемый „цинковый купоросъ“.

171. Въ этихъ и сходныхъ случаяхъ тѣла претерпѣваютъ какія то очень глубокія измѣненія — превращаются въ новыя тѣла. Подобныя измѣненія или превращенія называются химическими. Нѣкоторыя химическія измѣненія такъ часто происходятъ вокругъ насъ, что почти перестаютъ обращать на себя наше вниманіе. Желѣзо въ сыромъ воздухѣ покрывается буровато-красной ржавчиной; оставаясь

въ сыромъ мѣстѣ достаточно долго, желѣзная стружка можетъ постепенно вся превратиться въ такой непохожій на желѣзо порошокъ. Дерево отъ жара пламени превращается въ дымъ и газы, оставляя немного золы. Наконецъ горящая свѣча исчезаетъ безъ всякаго видимаго остатка: съ веществомъ ея происходитъ столь глубокое измѣненіе, что кажется, будто огонь совершенно уничтожаетъ вещество свѣчи,—чего въ дѣйствительности конечно нѣтъ.

Разсмотримъ теперь ближе нѣсколько химическихъ измѣненій.

Превращеніе нѣкоторыхъ металловъ при нагрѣваніи въ воздухѣ; роль воздуха; кислородъ, азотъ.

172. Многіе металлы при сильномъ накаливаніи въ воздухѣ измѣняются подобно напр. желѣзу, мѣди и магнію. Металлъ превращается въ неметаллическое—землистое—вещество, обыкновенно называемое (отъ слова „калить") окáлиной. Нѣкоторые металлы при этомъ горятъ.

Что же происходитъ съ металломъ, когда онъ превращается въ окáлину? Обратимся къ указаніямъ опыта.

Опытъ показываетъ, что 1) окáлина вѣситъ больше того металла, изъ котораго образовалась. Это хорошо замѣтно на слѣдующемъ примѣрѣ. Сплавимъ въ желѣзной ложкѣ 3 гр. свинца съ 1 гр. олова. При достаточно сильномъ нагрѣваніи блестящій металлическій сплавъ сперва покрывается сѣрой пленкой, а потомъ превращается въ желтоватую окáлину; масса тлѣетъ при этомъ, какъ губка. Образовавшаяся окáлина будетъ вѣсить значительно больше 4 гр. (вѣсъ взятаго сплава).

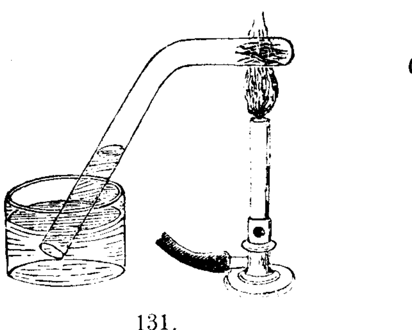
Если бы мы собрали и взвѣсили всю окáлину, образующуюся при сгораніи магнія (значительная часть ея улетаетъ въ воздухъ въ видѣ бѣлаго дыма), то нашли бы, что она вѣситъ больше сгорѣвшаго металла.

2) Въ отсутствіи воздуха металлъ не измѣняется: поверхность его остается чистою, какъ бы сильно ни было накаливаніе. Такъ бываетъ напр., если нагрѣвать металлъ (мѣдныя стружки) въ трубкѣ, чрезъ которую пропускается водородный газъ.

Итакъ воздухъ принимаетъ участіе въ этомъ превращеніи: нѣчто вѣсомое прибавляется — присоединяется — къ металлу. Это нѣчто есть или воздухъ, или берется изъ воздуха.

173. Посмотримъ же, чтò дѣлается съ тѣмъ воздухомъ, который соприкасается съ нагрѣтымъ металломъ. Для этого возьмемъ мѣдь и подвергнемъ ее нагрѣванію въ замкнутомъ пространствѣ—такъ, чтобы можно было видѣть, не измѣняется ли при этомъ качество и количество воздуха.

Положимъ нѣсколько полосокъ тонкой листовой мѣди въ запаянный конецъ изогнутой трубки изъ тугоплавкаго стекла (рис. 131), другой конецъ которой опустимъ въ воду; уровень воды въ трубкѣ поднимемъ до нѣкоторой высоты (высасывая изъ нея воздухъ съ помощью резиновой трубочки), которую и отмѣтимъ. Послѣ этого сильно нагрѣемъ мѣдь.



131.



132.

Уровень воды въ трубкѣ, сперва немного понизившійся (вслѣдствіе расширенія воздуха), спустя нѣкоторое время начинаетъ медленно повышаться. Вмѣстѣ съ тѣмъ мѣдь измѣняется съ поверхности. Когда повышеніе воды прекратится, отнимаютъ огонь и даютъ трубкѣ охладиться до комнатной температуры. Теперь вода будетъ стоять выше отмѣтки, сдѣланной вначалѣ. Объемъ воздуха въ трубкѣ сталъ меньше,—чего и можно было ожидать, такъ какъ изъ воздуха нѣчто переходитъ къ мѣди.

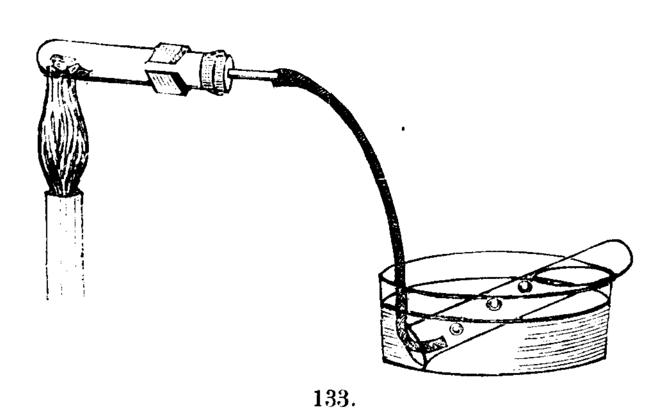
Но этого мало: оставшійся въ трубкѣ газъ не есть уже обыкновенный воздухъ, какъ показываетъ слѣдующая проба. Заткнувъ трубку пальцемъ, вынимаютъ ее изъ воды и перевертываютъ незапаяннымъ концомъ кверху—такъ, чтобы газъ перешелъ въ этотъ конецъ (рис. 132). Если

внести туда зажженую лучинку, то она мгновенно погаснетъ (между тѣмъ какъ въ такой же трубкѣ съ обыкновеннымъ воздухомъ она продолжаетъ горѣть довольно замѣтное время).

Изъ этого слѣдуетъ, что та часть воздуха, которая была удержана мѣдью, и та, которая осталась, — два разные газа. Первый необходимъ для горѣнія; во второмъ, напротивъ, горѣніе тотчасъ же прекращается. Безъ сомнѣнія, первому изъ нихъ и самый воздухъ обязанъ своею способностью поддерживать горѣніе. Опытъ показываетъ, что мѣдь и другіе металлы, превращаясь въ окáлину, удерживаютъ около одной пятой всего объема воздуха: таково именно должно быть въ воздухѣ количество того газа, который необходимъ для горѣнія.

174. Разложеніе ртутной окáлины (окиси ртути). Ртуть превращается въ окáлину — краснаго цвѣта—гораздо медленнѣе, чѣмъ названные выше металлы, и пришлось бы нагрѣвать ртуть очень долго, чтобы получить сколько-нибудь значительное количество окáлины. Но она интересна въ томъ отношеніи, что при еще болѣе сильномъ нагрѣваніи распадается или разлагается на ртуть и тотъ газъ, который присоединился изъ воздуха къ нагрѣтому металлу.

Нагрѣваніе ртутной окáлины производится въ запаянной съ конца трубкѣ (изъ тугоплавкаго стекла), снабженной трубочкой для отвода газа (рис. 133). Отдѣляющійся газъ собираютъ въ цилиндръ надъ водою. Взявъ для опыта грамма 2—3 окáлины, скоро достигаютъ того, что вся она исчезнетъ: въ трубкѣ останется только ртуть.



133.

Послѣ предыдущаго можно ожидать, что тѣла, горящія въ воздухѣ, будутъ горѣть въ полученномъ газѣ сильнѣе. Въ самомъ дѣлѣ, внося въ цилиндръ съ этимъ газомъ едва тлѣющую на концѣ лучину, мы увидимъ, что она вспыхнетъ и горитъ гораздо ярче, чѣмъ въ воздухѣ. Но это длится недолго: запасъ газа скоро истощается, и лучина гаснетъ. Огарокъ свѣчи со слабо тлѣющей свѣтильней тоже вспыхиваетъ и горитъ нѣкоторое время очень яркимъ пламенемъ.

175*. Газъ, обладающій этими свойствами и составляющій около $^1/_5$ объема воздуха, называется кислородомъ. Ему же обязанъ воздухъ способностью поддерживать дыханіе и жизнь. Остальная часть воздуха (около $^4/_5$ всего объема) не поддерживаетъ ни горѣнія, ни дыханія и состоитъ главнымъ образомъ изъ газа, называемаго азотомъ.

Металлъ, превращаясь въ окáлину, соединяется съ кислородомъ воздуха—таково заключеніе, которое надо сдѣлать изъ предыдущаго. Если накаливать мѣдныя стружки не въ воздухѣ, а въ чистомъ кислородѣ, то газъ будетъ удержанъ мѣдью (при достаточномъ количествѣ стружекъ) безъ всякаго остатка.

176*. Спрашивается, сколько окалины происходитъ изъ даннаго вѣсового количества мѣди? Если отвѣшенное количество мѣди накаливать въ трубкѣ въ струѣ воздуха или кислорода, то, вообще говоря, мы получимъ неодинаковое количество окáлины: оно будетъ тѣмъ больше, чѣмъ продолжительнѣе нагрѣваніе. Но, продолжая нагрѣваніе достаточно долго, можно достичь того, что кислородъ болѣе не будетъ удерживаться въ трубкѣ. Тогда—въ круглыхъ числахъ — изъ 4 вѣс. частей мѣди мы получимъ 5 ч. окалины и такое отношеніе найдемъ всякій разъ, какъ опытъ повторяется при сказанныхъ условіяхъ. Отсюда слѣдуетъ, что при этомъ изъ мѣди и кислорода происходитъ всегда одно и то же вещество: соединеніе 4 вѣс. ч. мѣди съ 1 в. ч. кислорода. Это вещество (окáлина упомянутаго постояннаго состава) называется въ химіи окисью мѣди. Оно приготовляется искусственно (заводскимъ путемъ), но встрѣчается готовымъ и въ природѣ—подъ именемъ черной мѣдной руды. Оно снова можетъ быть разложено на мѣдь и кислородъ—но не такъ просто, какъ ртутная окалина.

Красное вещество, происходящее при нагрѣваніи ртути въ воздухѣ (которое мы называли ртутной ока́линой), есть соединеніе ртути и кислорода въ нѣкоторомъ опредѣленномъ вѣсовомъ отношеніи и называется въ химіи окисью ртути [1].

Простыя тѣла; горѣніе нѣсколькихъ простыхъ тѣлъ въ кислородѣ.

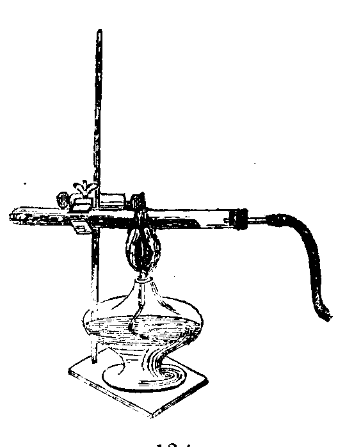
177. Малѣйшая доступная намъ частичка окиси ртути, окиси мѣди, мѣднаго купороса и т. п. вещественно не отличается отъ цѣлаго; и однако эти тѣла оказываются сложными, потому что получаются чрезъ соединеніе другихъ и могутъ быть разложены на тѣла, изъ которыхъ произошли. Ниже мы узнаемъ, что и вода, и многія другія „однородныя“ вещества могутъ быть разложены. Но этого нельзя сказать про всѣ тѣла. Напр. такіе металлы, какъ мѣдь, желѣзо, ртуть и др., до сихъ поръ не уступали никакимъ попыткамъ разложить ихъ на болѣе простыя тѣла. Сюда же относятся изъ извѣстныхъ намъ газовъ кислородъ, азотъ, водородъ. Въ настоящее время извѣстно около 80 тѣлъ, которыя не разлагаются на другія. Ихъ называютъ химически-простыми тѣлами, не утверждая впрочемъ, чтобы они навсегда остались неразложенными. Вотъ названія нѣсколькихъ простыхъ тѣлъ изъ числа болѣе обыкновенныхъ: водородъ, кислородъ, азотъ; сѣра, уголь (углеродъ), фосфоръ; желѣзо, мѣдь, ртуть, олово, свинецъ, цинкъ, магній, серебро, золото, платина — вообще всѣ металлы (за исключеніемъ конечно „сплавовъ“, каковы латунь, бронза и т. п.).

178*. Разсмотримъ отношеніе нѣсколькихъ простыхъ тѣлъ къ кислороду. Надо замѣтить, что этотъ газъ можетъ быть добытъ для опытовъ различными способами,—практически болѣе удобными, нежели тотъ, которымъ мы пользовались выше, — напр. нагрѣваніемъ т. наз. бертолетовой соли. Разложеніе ея облегчается прибавкою чистаго песку, перекиси марганца или окиси желѣза и удобно производится въ большой пробиркѣ, которую укрѣпляютъ въ

[1] Нелишнее замѣтить, что „окалина“ — слово, взятое изъ технической практики и недостаточно опредѣленное; между тѣмъ какъ слово „окись“ (даннаго металла) всегда означаетъ одно и то же вещество.

штативѣ почти горизонтально, съ легкимъ наклономъ къ отверстію (рис. 134).

Горѣніе угля и сѣры въ кислородѣ. Кусокъ угля, будучи зажженъ и внесенъ въ склянку съ кислородомъ, сильно раскаливается и скоро исчезаетъ, превращаясь въ газъ, который не способенъ поддерживать горѣнія свѣчи и мутитъ известковую воду. Это — углекислый газъ (См. пробу съ известковой водою, § 15). Точные опыты показываютъ, что вѣсъ углекислаго газа равняется суммѣ вѣсовъ угля и кислорода, пошедшихъ на его образованіе. Слѣдовательно углекислый газъ есть соединеніе угля и кислорода: уголь, сгорая въ кислородѣ, соединяется съ нимъ въ новое тѣло [1].



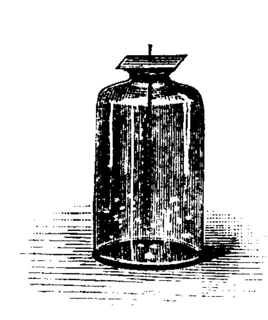
134.

Сѣра горитъ въ воздухѣ слабымъ синимъ пламенемъ, распространяя удушливый запахъ горящей сѣрной спички. Въ кислородѣ сѣра горитъ значительно ярче (явленіе очень красиво въ темнотѣ). При этомъ и сѣра, и кислородъ расходуются; изъ нихъ образуется новое вещество, газообразное при обыкновенной температурѣ,—тотъ самый газъ, который происходитъ и при сгораніи сѣры въ воздухѣ. Этотъ газъ есть соединеніе сѣры съ кислородомъ и называется сѣрнистокислымъ или сѣрнистымъ газомъ.

Въ кислородѣ легко сгораютъ и такія тѣла, которыя лишь при очень сильномъ накаливаніи горятъ въ воздухѣ. Напр.

[1] Изъ углекислаго газа, добытаго по извѣстному способу дѣйствіемъ соляной кислоты на мраморъ (§ 15), можно выдѣлить уголь, отнявъ отъ него кислородъ, напр. слѣдующимъ образомъ. Если въ цилиндръ съ углекислымъ газомъ опустимъ зажженую полоску магнія, то металлъ сгораетъ въ немъ, образуя ту же бѣлую магнезію (соединеніе магнія съ кислородомъ), какъ при сгораніи въ воздухѣ. На стѣнкахъ цилиндра появляются при этомъ пятна угля. (Взбалтывая остатокъ въ цилиндрѣ съ водою, къ которой прибавлено нѣсколько капель соляной кислоты, можно устранить магнезію и сдѣлать осадокъ угля болѣе замѣтнымъ).

легко сжечь въ кислородѣ желѣзную проволоку. Для этого, свернувъ тонкую проволоку спиралью, прикрѣпляютъ къ концу кусочекъ фитиля (или губки), зажигаютъ его и вносятъ проволоку въ склянку съ кислородомъ (рис. 135). Желѣзо горитъ, разбрасывая по сторонамъ расплавленные шарики окалины. Они такъ горячи, что вплавляются въ дно склянки даже тогда, когда въ ней оставленъ слой воды; склянка часто растрескивается.



135.

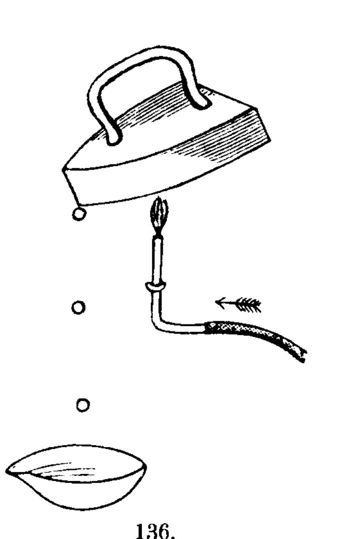
Горѣніе водорода въ кислородѣ; химическій составъ воды.

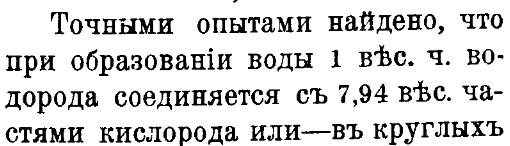
179*. Если зажечь водородъ, выходящій изъ газопроводной трубки (снабженной металлическимъ наконечникомъ, напр. отъ паяльной трубки), и внести пламя въ склянку съ кислородомъ, то водородъ продолжаетъ горѣть въ немъ, какъ въ воздухѣ, а склянка покрывается изнутри каплями воды; вмѣстѣ съ тѣмъ количество кислорода въ склянкѣ постепенно убываетъ (въ чемъ можно убѣдиться напр. и съ помощью тлѣющей лучинки). Послѣ предыдущаго мы не затруднимся заключить, что вода происходитъ здѣсь чрезъ взаимное соединеніе водорода и кислорода (особенно если вспомнимъ, что водородъ и кислородъ—простыя тѣла, и что слѣдовательно изъ нихъ не можетъ выдѣлиться чего-либо новаго). Въ самомъ дѣлѣ, вѣсъ образующейся воды, какъ показываютъ точные опыты, всегда равенъ суммѣ вѣсовъ водорода и кислорода, пошедшихъ на ея образованіе.

Чтобы получить большее количество воды изъ водорода и кислорода, зажигаютъ струю водорода, выходящую чрезъ трубочку изъ аппарата (лучше, если трубочка снабжена металлическимъ наконечникомъ) и охлаждаютъ поднимающіеся надъ пламенемъ водяные пары при помощи какого-либо массивнаго металлическаго предмета. Проще всего взять утюгъ и укрѣпить его въ зажимѣ надъ самымъ пламенемъ, внизъ узкимъ концомъ, съ котораго вода и стекаетъ каплями въ подставленную чашечку (рис. 136).

Отъ того, что при сгораніи водорода въ воздухѣ образуется вода, произошло и самое названіе „водорода“ (порождающій воду).

Обратно, вода, какъ тѣло сложное, можетъ быть разложена на простыя тѣла, изъ которыхъ образуется. Если пропустить водяные пары сквозь желѣзную или фарфоровую трубку, содержащую раскаленныя до-бѣла желѣзныя стружки, то желѣзо соединяется съ кислородомъ воды, образуя желѣзную окалину, а водородъ отдѣляется свободнымъ [1]. При очень высокой температурѣ вода (водяной паръ) прямо разлагается на водородъ и кислородъ. Наконецъ можно разложить воду и другими способами (напр. электрическимъ токомъ).





136.

Точными опытами найдено, что при образованіи воды 1 вѣс. ч. водорода соединяется съ 7,94 вѣс. частями кислорода или—въ круглыхъ числахъ—1 вѣс. ч. водорода съ 8 вѣс. ч. кислорода. Такъ какъ водородъ гораздо легче кислорода (почти въ 16 разъ), то объемное отношеніе газовъ будетъ совсѣмъ иное: два объема водорода соединяются съ однимъ объемомъ кислорода. (Объемы газовъ предполагаются измѣренными при одинаковой температурѣ и одномъ и томъ же давленіи).

Образованіе воды изъ водорода и кислорода представляетъ намъ одинъ изъ разительнѣйшихъ примѣровъ того, какое глубокое превращеніе можетъ происходить съ тѣлами, когда они вступаютъ въ химическое соединеніе.

Характеристика химическаго соединенія.

180. Изъ предыдущаго мы видимъ, что соединенія, на-

[1] При нѣкоторой сноровкѣ, опытъ хорошо удается и при нагрѣваніи порошковатаго желѣза или тонкой желѣзной (скомканной) проволоки въ стеклянной трубкѣ пламенемъ газовой или бензинной горѣлки.

зываемыя химическими, характеризуются слѣдующими особенностями:

1) Химическое соединеніе—тѣло однородное, и въ немъ отсутствуютъ отличительные признаки тѣхъ тѣлъ, которыя могутъ быть изъ него извлечены.

2) Химическое соединеніе образуется изъ составляющихъ его тѣлъ въ нѣкоторомъ опредѣленномъ количественномъ отношеніи [1].

Самое образованіе химическаго соединенія часто сопровождается разгоряченіемъ тѣлъ (развитіемъ теплоты), иногда настолько значительнымъ, что тѣла сами собою накаливаются и свѣтятъ (явленія горѣнія).

Все это указываетъ на своеобразное и глубокое измѣненіе химически-соединяющихся тѣлъ. Говоря, что вода состоитъ изъ водорода и кислорода, или называя водородъ и кислородъ „составными частями" (элементами) воды, не должно упускать изъ виду истиннаго значенія этихъ словъ. Ими хотятъ въ химіи сказать только то, что изъ воды при опредѣленныхъ условіяхъ можно получить водородъ и кислородъ, и что кромѣ водорода и кислорода ничего нельзя извлечь изъ воды. Но выраженія эти отнюдь не означаютъ, чтобы въ водѣ водородъ и кислородъ содержались готовыми, хотя бы и незамѣтнымъ для насъ образомъ, подобно тому напр., какъ селитра, сѣра и уголь содержатся въ порохѣ или сахаръ въ стаканѣ чая.

Объ окислахъ и окисленіи.

181. Обратимъ еще разъ вниманіе на свойства нѣкоторыхъ изъ тѣхъ сложныхъ веществъ, которыя получаются при соединеніи простыхъ тѣлъ съ кислородомъ.

Газъ, образовавшійся послѣ сгоранія сѣры въ кислородѣ, при взбалтываніи съ водою, растворяется въ ней, со-

[1] Не надо думать, что два тѣла могутъ образовать другъ съ другомъ только одно химическое соединеніе. Чаще всего два тѣла соединяются въ нѣсколькихъ вѣс. отношеніяхъ. Но отношенія эти подчиняются извѣстной правильности, и нельзя заставить тѣла соединиться въ какомъ либо произвольномъ отношеніи. Этимъ химическое соединеніе въ особенности отличается отъ смѣси тѣлъ: смѣшивать тѣла мы можемъ въ какихъ угодно отношеніяхъ.

общая водѣ свой характерный запахъ и кислый вкусъ. Въ послѣднемъ легко удостовѣриться и помимо пробы языкомъ. Растворъ растительной краски, называемой лакмусомъ (§ 168), мѣняетъ свой синій цвѣтъ въ красный отъ прибавленія малѣйшаго количества кислоты (капли лимоннаго сока или уксуса) и даетъ средство открывать присутствіе „кислоты" даже въ очень разведенныхъ растворахъ. (Для той же цѣли служатъ полоски непроклеенной бумаги, пропитанныя лакмусовымъ растворомъ и высушенныя—такъ наз. лакмусовыя бумажки). Приливая синей лакмусовой жидкости въ склянку, въ которой сжигалась сѣра, мы увидимъ, что содержимое склянки при взбалтываніи покраснѣетъ, хотя бы было взято очень мало сѣры для сжиганія. Продуктъ горѣнія угля въ кислородѣ также имѣетъ слабыя кислыя свойства. Отсюда самыя названія сѣрнисто-кислаго и угле-кислаго газовъ.

182. Многія простыя тѣла, соединяясь съ кислородомъ, образуютъ кислыя вещества. Поэтому химическія соединенія простыхъ тѣлъ съ кислородомъ вообще получили названіе окисловъ, а процессъ соединенія съ кислородомъ названъ окисленіемъ. Отсюда же и самое названіе „кислорода" (порождающій кислоту).

Такимъ образомъ не только соединенія, обладающія кислыми свойствами, какъ напр. сѣрнистый и углекислый газы, но и вода, окись мѣди, окись ртути, желѣзная окалина, а равно и другія соединенія простыхъ тѣлъ съ кислородомъ, о которыхъ упоминалось выше,—всѣ называются окислами соотвѣтствующихъ простыхъ тѣлъ [1].

Ржавленіе желѣза есть процессъ окисленія болѣе сложный, такъ какъ въ немъ принимаетъ участіе еще и вода (напр. влага воздуха); желѣзная ржавчина состоитъ изъ желѣза и элементовъ воды—кислорода и водорода.

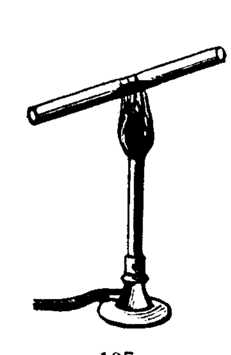
[1] Не должно смѣшивать между собою названія „окислы" и „окиси": окисями въ химіи называются нѣкоторые изъ окисловъ (послѣднее названіе обнимаетъ гораздо болѣе обширный классъ тѣлъ). Желѣзо напр. образуетъ нѣсколько окисловъ, къ которымъ относится между прочимъ и желѣзная окалина; и лишь одинъ изъ нихъ—но не желѣзная окалина—называется окисью желѣза.

О горѣніи.

183. Рѣзкія особенности того, что называютъ „горѣніемъ", прямо бросаются въ глаза. Это во-1) полное измѣненіе — иногда какъ бы исчезновеніе — горючаго матерьяла, во-2) жаръ и свѣтъ, которые, разъ горѣніе началось, поддерживаются потомъ сами собою. Относительно перваго явленія мы уже знаемъ, что оно—по крайней мѣрѣ въ нѣсколькихъ разобранныхъ нами случаяхъ — есть признакъ химическаго соединенія горящаго тѣла съ кислородомъ и образованія новыхъ веществъ; если они газообразны и не имѣютъ ни запаха, ни цвѣта, то легко могутъ ускользнуть отъ наблюденія, и нужны подходящіе пріемы, чтобы ихъ обнаружить.

Обратимся теперь къ другой особенности — развитію теплоты. Мы имѣли выше нѣсколько явственныхъ примѣровъ возникновенія теплоты при образованіи химическихъ соединеній (соединеніе безводнаго мѣднаго купороса съ водою [1], образованіе окалины свинца, олова, магнія, горѣніе другихъ простыхъ тѣлъ въ кислородѣ). Но развитіе теплоты можетъ быть доказано и во многихъ другихъ случаяхъ, когда оно, по незначительности или по условіямъ опыта, не обнаруживается какими-либо рѣзкими явленіями.

Таково напр. образованіе окалины при нагрѣваніи мѣдныхъ стружекъ въ воздухѣ. Оно происходитъ довольно медленно, такъ что теплота, появляющаяся во время сединенія, успѣваетъ въ значительной мѣрѣ теряться чрезъ передачу окружающимъ тѣламъ. Но стоитъ только ускорить соединеніе, и развитіе теплоты сдѣлается замѣтнымъ. Этого можно достичь, взявъ мѣдь въ очень мелкомъ порошкѣ. Если нагрѣть такой порошокъ въ трубкѣ, — держа ее наклонно (рис. 137), чтобы облегчить доступъ воздуха,—то порошокъ станетъ тлѣть какъ уголь; можно отнять огонь, и тлѣніе будетъ продолжаться само собою.


137.

[1] Изъ общеизвѣстныхъ примѣровъ можно назвать еще соединеніе воды съ известью—такъ называемое гашеніе извести.

Труднѣе обнаружить развитіе теплоты при соединеніи ртути съ кислородомъ, потому что оно идетъ очень медленно. Но оно доказано и для этого случая.

Развитіе теплоты наблюдается при образованіи химическихъ соединеній во множествѣ случаевъ. Когда оно настолько велико, что тѣла, накаливаясь, становятся свѣтящими, процессъ получаетъ названіе горѣнія.

184*. Чтобы лучше понять сущность явленія, называемаго этимъ именемъ, должно еще замѣтить слѣдующее.

1) Химическое соединеніе двухъ тѣлъ вообще можетъ совершаться лишь при достаточной степени тепла, не ниже извѣстной температуры, очень различной въ разныхъ случаяхъ. Напр. нельзя зажечь спичку съ помощью тепла руки, т. е. нагрѣваніемъ до температуры нашего тѣла: надо произвести треніемъ болѣе сильное разогрѣваніе части головки. „Зажигая" какой-либо горючій матерьялъ въ воздухѣ, напр. пламенемъ спички, мы именно нагрѣваемъ нѣкоторую часть его до той температуры, при которой можетъ происходить его соединеніе съ кислородомъ.

2) Когда тѣло въ одномъ мѣстѣ доведено до этой температуры, соединеніе либо продолжится само собою, либо прекратится по удаленіи источника жара. Не трудно теперь понять, при какихъ условіяхъ произойдетъ то или другое. Возьмемъ напр. горѣніе (тлѣніе) угля въ воздухѣ. Теплота, развивающаяся при соединеніи угля съ кислородомъ, по мѣрѣ ея возникновенія, передается во-1) несгорѣвшему еще углю, 2) продукту горѣнія — углекислому газу, 3) воздуху, наконецъ 4) другимъ сосѣднимъ тѣламъ. Словомъ, теплота распредѣляется на много тѣлъ; на долю горючаго матерьяла, угля, приходится лишь нѣкоторый остатокъ теплоты. Положимъ, этотъ остатокъ достаточно великъ, чтобы поддержать уголь при той температурѣ, какая необходима для его соединенія съ кислородомъ; тогда процессъ, разъ начавшись насчетъ посторонняго нагрѣванія, будетъ продолжаться самъ собою: онъ явится теперь самъ длящимся источникомъ теплоты. Въ противномъ случаѣ уголь погаснетъ. Вполнѣ понятно, почему горѣніе угля въ кислородѣ происходитъ сильнѣе, чѣмъ въ воздухѣ. При горѣніи въ кислородѣ къ горящему тѣлу не притекаетъ азота (объемъ кото-

раго въ воздухѣ въ 4 раза превышаетъ объемъ кислорода) и слѣдовательно устранена трата теплоты на его нагрѣваніе. Температура угля, горящаго въ кислородѣ, гораздо выше, чѣмъ въ воздухѣ; оттого сильнѣе и производимый имъ свѣтъ. Напротивъ, тлѣющій уголь легко гаснетъ, если напр. положить его на желѣзную плиту: въ этомъ случаѣ происходитъ значительная потеря теплоты чрезъ передачу ея металлу [1].

185. Весьма высокая температура получается при сжиганіи смѣси водорода съ кислородомъ, и въ этомъ причина взрыва, который можетъ произойти при зажиганіи такой смѣси напр. въ склянкѣ. Продуктъ горѣнія, водяной паръ, нагрѣваясь до очень высокой температуры, стремится занять объемъ во много разъ бóльшій, нежели объемъ взятой смѣси. Отсюда сильное давленіе паровъ и то сотрясеніе воздуха, которое нашимъ ухомъ воспринимается какъ звукъ. Взрывъ всего сильнѣе, когда водородъ и кислородъ смѣшаны въ томъ именно отношеніи, въ которомъ они соединяются для образованія воды (1:8 по вѣсу или 2:1 по объему). Смѣсь водорода съ кислородомъ въ объемномъ отношеніи 2:1 обыкновенно называется „гремучимъ газомъ". Взрывъ—конечно менѣе сильный—можетъ произойти и при зажиганіи смѣси водорода съ воздухомъ. (Сколько воздуха надо примѣшать, чтобы объемное отношеніе водорода къ кислороду въ смѣси было именно 2:1 ?). Вотъ почему при добываніи водорода и опытахъ съ нимъ надо соблюдать нѣкоторыя предосторожности (указанныя выше, § 16).

Для сжиганія гремучаго газа безъ взрыва служитъ горѣлка особаго устройства; въ ней газы смѣшиваются лишь у самаго выхода наружу, въ мѣстѣ сгоранія. Такъ получаютъ пламя весьма высокой температуры (около 2000° Ц.). Въ немъ

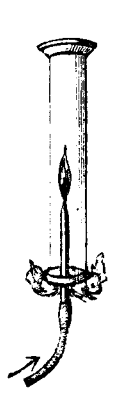
[1] Извѣстно, что желѣзо, будучи сильно накалено (напр. въ кузнечномъ горну), горитъ. Но чтобы горѣніе могло длиться въ воздухѣ, нуженъ непрерывный сильный притокъ теплоты извнѣ: иначе желѣзо не сохраняетъ достаточно высокой температуры, и горѣніе само собою продолжаться не можетъ. Вотъ почему мы не называемъ желѣза „горючимъ", хотя оно и можетъ горѣть при надлежащихъ условіяхъ. Мелкія желѣзныя опилки легко сгораютъ (превращаются въ окалину), если сыпать ихъ на пламя газовой или бензиновой горѣлки (огненный дождь).

легко плавятся нѣкоторые тугоплавкіе металлы, напр. платина. Кусокъ извести (вещества, еще не плавящагося при этой температурѣ), накаливаясь, издаетъ ослѣпительно-бѣлый свѣтъ (такъ наз. друммондовъ свѣтъ).

Горѣніе угля въ кислородѣ даетъ также очень высокую температуру.

186. Остается еще указать на слѣдующее обстоятельство, которое легко упускается изъ виду. Горѣніе есть процессъ соединенія двухъ (по меньшей мѣрѣ) тѣлъ, изъ которыхъ одно является для насъ „сожигаемымъ" (горючимъ матерьяломъ), а другое „сожигающимъ" (поддерживающимъ горѣніе). Но легко—по крайней мѣрѣ на слѣдующемъ примѣрѣ—показать, что это различіе условно и происходитъ отъ того, что мы привыкли наблюдать явленіе въ такихъ, а не иныхъ обстоятельствахъ.

Водородъ горитъ въ кислородѣ. Но, измѣнивъ условія явленія, легко произвести горѣніе кислорода въ водородѣ. Для этого берутъ цилиндръ съ водороднымъ газомъ (держа его конечно отверстіемъ внизъ), зажигаютъ водородъ и вводятъ въ цилиндръ трубочку, по которой притекаетъ струя кислороднаго газа изъ газохранителя (рис. 138). Теперь кислородъ загорается у отверстія цилиндра, прикоснувшись къ водородному пламени, и горитъ въ водородѣ точно такъ, какъ послѣдній горитъ въ кислородѣ [1].


138.

Называя водородъ „горючимъ", а кислородъ „поддерживающимъ горѣніе", мы очевидно пріурочиваемъ названія къ тѣмъ условіямъ, въ которыхъ живемъ. Если бы земная атмосфера содержала водородъ вмѣсто кислорода, то газы помѣнялись бы ролями: „горючимъ" былъ бы кислородъ. Различеніе горючаго и сожигающаго становится вовсе невозможнымъ, когда газы смѣшаны, и горѣніе происходитъ во всей массѣ [2].

[1] Этотъ поучительный опытъ очень простъ и совершенно безопасенъ. Надо только предварительной пробою урегулировать струю кислорода и, оставивъ кранъ въ требуемомъ положеніи, запереть потомъ резиновую газопроводную трубку временно винтовымъ зажимомъ.

[2] Обратимъ кстати вниманіе на то, что въ „водородной атмосферѣ"

Горѣніе свѣчи, дерева и т. п., какъ явленія болѣе сложныя, мы разберемъ ниже отдѣльно.

Примѣры тѣлъ болѣе сложнаго химическаго состава.

187. До сихъ поръ мы имѣли дѣло съ химическими соединеніями, состоящими только изъ двухъ простыхъ тѣлъ. Но очень обыкновенны и болѣе сложныя соединенія—изъ трехъ, четырехъ и болѣе элементовъ. Первымъ примѣромъ вещества болѣе сложнаго послужитъ уже извѣстный намъ мѣдный купоросъ. Мы знаемъ, что онъ при нагрѣваніи разлагается на воду и другое тѣло, безводный мѣдный купоросъ. Химическій составъ воды намъ уже извѣстенъ. Что касается безводнаго мѣднаго купороса, то онъ можетъ быть разложенъ на три простыхъ тѣла: мѣдь, сѣру и кислородъ.

Изъ воднаго раствора мѣднаго купороса мѣдь легко выдѣляется, если опустить въ жидкость вычищенную желѣзную пластинку (клинокъ ножа, вязальную спицу): желѣзо скоро покрывается краснымъ слоемъ мѣди. Различными способами можно получить въ отдѣльности и остальныя составныя части безводнаго купороса.

Итакъ синій (кристаллическій) мѣдный купоросъ представляетъ въ общемъ химическое соединеніе четырехъ простыхъ тѣлъ: мѣди, сѣры, кислорода и водорода. Обыкновенно его разсматриваютъ какъ соединеніе безводнаго мѣднаго купороса (состоящаго изъ мѣди, сѣры и кислорода) съ водою (состоящею изъ водорода и кислорода); послѣдняя отдѣляется сравнительно легко при нагрѣваніи. Количество воды составляетъ нѣсколько болѣе $^1/_3$ всего вѣса синяго купороса.

вода происходила бы чрезъ сожиганіе кислорода и „порождающимъ воду"—водородомъ—былъ бы нашъ кислородъ. Въ дѣйствительности обѣ составныя части воды, какъ одинаково необходимыя для ея образованія, могутъ быть названы порождающими воду. Эти и подобные примѣры ясно показываютъ намъ, какъ тѣсно наши понятія—отражающіяся въ названіяхъ—связаны съ условіями, въ которыхъ производятся наши наблюденія. Здѣсь именно очень и очень многое зависитъ отъ свойствъ нашей атмосферы—среды, въ которой мы живемъ.

188*. Какъ примѣръ химическаго соединенія, состоящаго болѣе чѣмъ изъ двухъ элементовъ, возьмемъ еще сѣрную кислоту. Она состоитъ изъ сѣры, кислорода и водорода. Водородъ легко выдѣляется, если разведенную водою сѣрную кислоту привести въ соприкосновеніе съ цинкомъ (или желѣзомъ),—чѣмъ и пользуются обыкновенно для добыванія водорода (гл. II, § 16).

---

175. Чистыя серебро, золото, платина (т. наз. „благородные" металлы) *при накаливаніи* нисколько *не измѣняются* съ поверхности—остаются блестящими; вмѣстѣ съ тѣмъ не происходитъ и измѣненія вѣса. Чѣмъ слѣдов. ихъ отношеніе къ воздуху отличается отъ отношенія къ нему желѣза, мѣди и т. п.? (Серебряныя и золотыя *издѣлія* при накаливаніи чернѣютъ: они состоятъ не изъ чистыхъ металловъ, а изъ сплавовъ съ другими).—Сколько куб. футовъ кислорода и азота, круглымъ счетомъ, въ 100 куб. футахъ воздуха?—**176.** Сколько граммовъ мѣди можно было бы получить разложеніемъ 1 килограмма окиси мѣди?—**178.** Что такое искра, вылетающая изъ печной трубы или паровоза, и во что превращается она, когда исчезаетъ для глаза?—**179.** *Вѣсовое* отношеніе водорода и кислорода, соединяющихся для образованія воды, почти $= 1:8$. Вывести *объемное* отношеніе газовъ, принявъ во вниманіе, что кислородъ приблиз. въ 16 разъ тяжелѣе равнаго объема водорода.—Сколько водорода и кислорода содержится въ 9 килогр. воды? Сколько фунтовъ того и другого въ 1 пудѣ воды? Найти вѣс. количества водорода и кислорода, приходящіяся на 100 вѣс. единицъ (фунтовъ, пудовъ, килограммовъ и т. п.) воды, т. е. вычислить *процентный составъ* воды.—**184.** Раскаленный въ угляхъ кирпичъ издаетъ свѣтъ, какъ и самые угли. Но почему нельзя сказать, что кирпичъ горитъ? Въ чемъ существенное различіе между причиною раскаленнаго состоянія углей и кирпича? Горитъ ли стекло, когда оно накаливается въ пламени до свѣченія?—**188.** При взаимодѣйствіи цинка съ разведенной сѣрной кислотою выдѣляется водородъ. Почему можно быть увѣреннымъ, что водородъ выдѣляется *не изъ цинка?* Или что онъ не образуется чрезъ химическое соединеніе цинка съ какою-либо составною частью сѣрной кислоты? (Обратить вниманіе на перечень *простыхъ* тѣлъ, § 177).

XII.

Свѣдѣнія о химическомъ составѣ, доставляемыя обыкновенными примѣрами горѣнія. Углеродистыя вещества. Что такое пламя свѣчи? Круговоротъ углерода въ органическомъ мірѣ и законъ сохраненія количества вещества.

Какимъ образомъ по продуктамъ горѣнія свѣчи, спирта и т. п. судятъ о составѣ горючаго матерьяла.

189*. Горѣніе свѣчи, спирта, дерева—явленія гораздо болѣе сложныя, чѣмъ разсмотрѣнные выше примѣры горѣнія простыхъ тѣлъ, потому что наши обыкновеннѣйшія горючіе матерьялы не простыя, а сложныя тѣла.

Изъ повседневнаго опыта мы знаемъ, что для горѣнія необходимъ воздухъ; при недостаткѣ воздуха горѣніе ослабѣваетъ и прекращается. Для того, чтобы дрова въ печи хорошо горѣли, необходимъ достаточный притокъ воздуха извнѣ („тяга"). Когда хотятъ погасить тлѣющую свѣтильню, устраняютъ доступъ воздуха, сдавливая ее напр. пальцами. Заливаніе огня водою также имѣетъ цѣлью главнымъ образомъ устраненіе доступа воздуха; на томъ же основываются разныя огнегасительныя противопожарныя приспособленія. Наконецъ мы знаемъ, что свѣча въ углекисломъ газѣ или въ водородѣ гаснетъ.

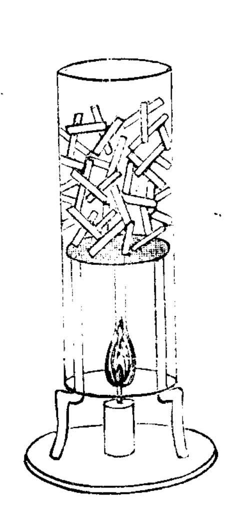
190*. Сгорая, свѣча, спиртъ и т. п. превращаются въ газообразныя вещества. Одинъ изъ продуктовъ сгоранія есть водяной паръ. Образованіе воды при горѣніи можно обнаружить, охлаждая поднимающіеся надъ пламенемъ газы,—держа надъ нимъ какой-нибудь массивный предметъ (напр. утюгъ, см. выше § 179). Когда на пламя спиртовой лампы ставятъ кастрюльку съ водою, дно сосуда, пока онъ еще не нагрѣлся, покрывается каплями воды. Холодное ламповое стекло, надѣваемое на пламя керосиновой лампы, тотчасъ

же „отпотѣваетъ" — покрывается мельчайшими водяными каплями.

Другое воздухообразное тѣло, образующееся въ этихъ и подобныхъ случаяхъ, — углекислый газъ. Воздухъ, въ которомъ горѣли свѣча или спиртъ, утрачивая способность поддерживать горѣніе, вмѣстѣ съ тѣмъ начинаетъ мутить известковую воду—давать въ ней бѣлый осадокъ углекислой извести. (Для опыта даютъ сперва свѣчѣ или спирту — которымъ смачиваютъ вату — нѣкоторое время горѣть въ склянкѣ).

Углекислый газъ и вода—вотъ все, во что превращаются свѣча и спиртъ при сгораніи.

191*. Припоминая другіе случаи горѣнія, именно горѣніе простыхъ тѣлъ, можно уже думать, судя по сходству явленій, что и здѣсь матерьялъ горящаго тѣла соединяется съ кислородомъ воздуха. Въ самомъ дѣлѣ, количество кислорода, въ которомъ горитъ свѣча, мало-по-малу уменьшается. Съ другой же стороны, опытъ показываетъ, что углекислый газъ и вода вмѣстѣ вѣсятъ больше того горючаго матерьяла, который пошелъ на ихъ образованіе. Для доказательства проще всего поступить такъ.



139.

Огарокъ восковой свѣчи помѣщаютъ подъ стеклянный цилиндръ, установленный на тонкомъ проволочномъ треножникѣ, къ верхней части котораго придѣлана мѣдная сѣтка (рис. 139); на послѣднюю кладутъ куски матерьяла (ѣдкаго натра), назначаемаго для удержанія (поглощенія) углекислаго газа и водяныхъ паровъ. Уравновѣсивъ снаряженный такъ приборъ на чашкѣ вѣсовъ (даже довольно грубыхъ, напр. робервалевскихъ), зажигаютъ свѣчу. Спустя нѣкоторое время чашка съ приборомъ начинаетъ замѣтно перетягивать.

Горѣніе свѣчи есть соединеніе горючаго матерьяла съ кислородомъ воздуха. То же самое можно сказать о горѣніи спирта и другихъ обыкновенныхъ горючихъ матерьяловъ.

192. По составу продуктовъ горѣнія можно тотчасъ

сдѣлать и нѣкоторыя заключенія о *составѣ горючаго матерьяла*. Вода, какъ мы знаемъ, состоитъ изъ водорода и кислорода. Но водородъ той воды, которая образуется при горѣніи свѣчи и пр., могъ взяться только изъ горючаго матерьяла; слѣдовательно *водородъ* во всякомъ случаѣ входитъ въ составъ вещества свѣчи (воска, стеарина) и спирта. *Углекислый газъ* состоитъ изъ угля и кислорода. Такимъ образомъ другое простое тѣло, которое должно входить въ составъ горючаго матерьяла, есть *уголь*. Что касается *кислорода*, то и онъ можетъ быть составною частью воска, стеарина или спирта; но предшествовавшіе опыты не достаточны для рѣшенія этого вопроса (почему?).

193*. Тѣ же самые продукты, въ которые превращаются, сгорая, стеаринъ, воскъ и спиртъ, образуются и при сгораніи многихъ другихъ сложныхъ тѣлъ.

Керосинъ, сжигаемый при достаточномъ притокѣ воздуха, превращается въ углекислый газъ и водяные пары. Въ этомъ можно убѣдиться, изслѣдуя напр. газы, поднимающіеся надъ хорошо горящей керосиновой лампою вмѣстѣ со струею горячаго воздуха.

Когда горитъ *дерево*, оно превращается въ дымъ и газы, оставляя золу. Нагрѣвъ кусочекъ дерева въ пламени (обломокъ спички на желѣзной пластинкѣ), легко *сжечь* и самый *дымъ*. Тогда окончательными продуктами сгоранія дерева будутъ углекислый газъ и водяные пары. (Зола же есть *негорючій остатокъ* древесной массы).—Горящее дерево сперва обыкновенно обугливается; подъ конецъ сгораетъ и уголь, оставляя золу.

Если нагрѣть въ огнѣ на желѣзной пластинкѣ кусокъ *сахара* или *крахмала*, то они будутъ горѣть; сперва они чернѣютъ, обугливаются, но при дальнѣйшемъ нагрѣваніи сгораетъ и уголь. Продукты полнаго сгоранія крахмала и сахара—также углекислый газъ и вода.

Дерево, крахмалъ и сахаръ вообще легко разлагаются съ выдѣленіемъ угля (обугливаніе). Что касается стеарина и керосина, то всякій знаетъ, что если въ пламени свѣчи или лампы подержать напр. фарфоровый черепокъ, то онъ покрывается копотью, сажей: эта сажа содержитъ много угля въ состояніи мельчайшаго порошка. Пламя чистаго спирта не коптитъ; но и изъ спирта можно выдѣлить уголь—иными путями.

Наконецъ изъ дерева, сахара, крахмала—можно извлечь уголь еще и слѣдующимъ образомъ. Если опустить лучину въ крѣпкую сѣрную кислоту, то дерево скоро обугливается, особенно если кислоту подогрѣть.—Обливая кусокъ сахара сѣрной кислотою и подогрѣвая, мы увидимъ, что сахаръ превращается въ рыхлую черную массу, которая содержитъ много мелко-раздробленнаго угля.

Итакъ *уголь* (углеродъ) и *водородъ* входятъ въ составъ многихъ—притомъ самыхъ обыкновенныхъ—горючихъ веществъ.

Остается прибавить, что въ составъ стеарина, воска, спирта, дерева, крахмала и сахара входитъ еще и *кислородъ*: это доказывается изслѣдованіями, о которыхъ мы здѣсь говорить не можемъ. Вещество же керосина (если не считать нѣкоторыхъ постороннихъ примѣсей) состоитъ только изъ углерода и водорода.

Уголь (углеродъ) и его соединенія съ кислородомъ и съ водородомъ.

194*. Уголь—тѣло мало измѣнчивое при температурахъ не очень высокихъ, тѣло, какъ говорятъ, очень *постоянное* (въ жару уголь соединяется съ кислородомъ—горитъ). При самыхъ высокихъ степеняхъ жара, какія достигаются искусственно, уголь не превращается въ жидкость, а прямо переходитъ въ парообразное состояніе. Уголь поэтому называютъ тѣломъ неплавкимъ [1].

Съ кислородомъ уголь образуетъ два соединенія. Съ однимъ изъ нихъ—углекислымъ газомъ—мы уже достаточно знакомы. Когда уголь горитъ при *маломъ* доступѣ воздуха или кислорода, то образуется другое газообразное соединеніе, въ которомъ на данное количество угля приходится *ровно вдвое менѣе* кислорода, чѣмъ въ углекисломъ газѣ. Этотъ газъ не мутитъ известковой

[1] Кромѣ того угля, который получается искусственно обугливаніемъ дерева, есть и другіе виды угля. Таковы напр. каменный уголь, большими пластами залегающій въ землѣ, и торфъ (сложная землистая масса, въ которой уголь составляетъ около $^1/_2$ вѣса), находимый на днѣ многихъ болотъ. Эти виды угля тоже растительнаго происхожденія, какъ и древесный. Но ни одинъ изъ видовъ угля, ни природныхъ, ни получаемыхъ искусственно изъ дерева, *не представляетъ простого тѣла*. Полученіе „химически-чистаго“ угля сопряжено съ немалыми трудностями.

воды и горитъ голубымъ пламенемъ. Продуктомъ горѣнія является углекислый газъ—изъ чего и видно, что горючее соединеніе содержитъ меньше кислорода, чѣмъ углекислый газъ. Оно называется „угарнымъ газомъ“ или (въ химіи) окисью углерода. Угарный газъ слѣдовательно можно разсматривать какъ продуктъ неполнаго горѣнія (незаконченнаго горѣнія) угля. Продуктомъ полнаго сгоранія всегда бываетъ углекислый газъ.

Окись углерода часто образуется при топкѣ печей. Когда дрова прогорѣли, и горячіе угли собраны въ кучу, надъ ними обыкновенно можно замѣтить голубое пламя: это пламя окиси углерода. Если печная труба закрыта преждевременно, то окись углерода попадаетъ въ комнату и бываетъ причиною заболѣванія, приписываемаго „угару“ (отсюда и названіе угарнаго газа).—Надо замѣтить, что чистая окись углерода не имѣетъ запаха. Запахъ, свойственный угарному воздуху, зависитъ отъ примѣси другихъ продуктовъ неполнаго горѣнія топлива.

195. При высокой температурѣ уголь способенъ отъ многихъ тѣлъ отнимать кислородъ, соединяясь съ нимъ. Если порошкообразную окись мѣди, смѣшанную съ угольнымъ порошкомъ, сильно нагрѣвать въ тугоплавкой стеклянной трубкѣ, то легко обнаружить выдѣленіе углекислаго газа, который очевидно образуется насчетъ кислорода окиси мѣди; слѣдов. мѣдь выдѣляется изъ окиси. Потребовалось бы однако очень продолжительное нагрѣваніе, чтобы получить этимъ путемъ сколько-нибудь значительное количество мѣди: взаимодѣйствіе требуетъ очень сильнаго жара.

Названное свойство угля имѣетъ большое значеніе въ лабораторной практикѣ и техникѣ. Имъ пользуются для полученія многихъ простыхъ тѣлъ изъ сложныхъ, находимыхъ въ природѣ; на немъ основаны техническіе пріемы извлеченія желѣза и нѣкоторыхъ другихъ металловъ изъ ихъ рудъ.

196*. Соединенія угля съ водородомъ (углеводороды). Уголь образуетъ съ водородомъ множество соединеній, которыя носятъ общее названіе углеводородовъ. Вотъ нѣсколько примѣровъ.

1) Со дна болотъ, въ смѣси съ углекислымъ и другими

газами, часто поднимается горючій газъ, представляющій соединеніе 3 вѣс. частей угля съ 1 вѣс. ч. водорода. Это соединеніе называется болотнымъ газомъ (въ химіи—метаномъ). Изъ всѣхъ соединеній угля съ водородомъ въ немъ наибольшее количество водорода на данный вѣсъ угля.

Болотный газъ горитъ въ воздухѣ почти не свѣтящимъ и не дающимъ копоти пламенемъ, которое очень напоминаетъ водородное. Тотъ же газъ нерѣдко накопляется въ каменно-угольныхъ копяхъ, гдѣ и бываетъ причиною весьма опасныхъ взрывовъ („рудничный газъ“). Онъ же — одна изъ главныхъ составныхъ частей обыкновенно „свѣтильнаго газа“.

2) Большое число соединеній угля съ водородомъ можно извлечь изъ керосина, который представляетъ собою смѣсь многихъ углеводородныхъ веществъ (главн. обр. жидкихъ). При достаточномъ доступѣ воздуха (напр. въ лампѣ съ хорошей тягой) углеводороды керосина цѣликомъ сгораютъ въ углекислый газъ и водяные пары. Въ противномъ случаѣ горѣніе неполное: часть керосина сгораетъ, а другая разлагается на уголь (копоть) и различныя углеродистыя вещества непріятнаго запаха [1].

3) Обыкновенный продажный бензинъ представляетъ смѣсь наиболѣе летучихъ частей нефти — смѣсь углеводородовъ.

4) Скипидарное или терпентинное масло тоже смѣсь нѣсколькихъ углеводородовъ. Эти углеводороды содержатъ въ составѣ относительно много угля; оттого скипидарное масло (скипидаръ) горитъ сильно коптящимъ пламенемъ.

5) Наконецъ примѣромъ смѣси нѣсколькихъ твердыхъ углеводородовъ можетъ служить парафинъ, идущій на выдѣлку свѣчей того же названія [2].

---

[1] Керосинъ есть извѣстнымъ образомъ переработанная и очищенная нефть—минеральное масло, которое въ огромномъ количествѣ выдѣляется изъ земли въ нѣкоторыхъ горныхъ мѣстностяхъ, напр. у насъ на Кавказѣ (Баку) и С. Америкѣ (Пенсильванія, Канада).

[2] Нелишнее упомянуть здѣсь, что уголь въ маломъ количествѣ находится въ продажномъ желѣзѣ, а въ бо́льшемъ—въ стали и чугунѣ. Желѣзо обыкновенно содержитъ не болѣе 1/4% угля, сталь отъ 1/2% до 1%, а чугунъ 2—5%. Содержаніе этихъ небольшихъ ко-

Замѣчательныя видоизмѣненія угля: графитъ и алмазъ.

197. Въ природѣ находятъ еще два простыхъ твердыхъ тѣла, которыя не плавки и почти ни въ чемъ не растворяются: это графитъ и алмазъ. Оба вещества, будучи сильно накалены въ кислородѣ, сгораютъ, оставляя только немного золы (нѣкоторые сорта алмаза—почти безъ остатка). Продуктомъ горѣнія является только углекислый газъ. И если по вѣсу послѣдняго разсчитать вѣсъ углерода (который составляетъ 3/11 вѣса всего углекислаго газа) то онъ въ точности будетъ равенъ вѣсу сожженнаго алмаза или графита (за выключеніемъ конечно негорючаго остатка).

Такимъ образомъ уголь, графитъ и алмазъ представляютъ видоизмѣненія одного и того же вещества.

Особенно поразительна разница въ свойствахъ угля и алмаза. Но опыты не оставляютъ никакого сомнѣнія въ томъ, что вещественно алмазъ не отличается отъ угля. Будучи сильно накаленъ въ безвоздушномъ пространствѣ (чтобы онъ не могъ сгорать), алмазъ, ничего не теряя и не пріобрѣтая въ вѣсѣ, превращается въ тѣло, очень похожее на одно изъ плотныхъ сортовъ угля, коксъ.

Различіе между алмазомъ, графитомъ и углемъ не ограничивается одною внѣшностью: оно простирается на многіе признаки. Возьмемъ напр. относительную плотность и твердость. Относ. плотность алмаза 3,5, графита отъ 2,2 до 2,3, угля 1,4—1,9. Алмазъ—самое твердое тѣло; графитъ чертится ногтемъ; твердость же угля различна: обыкновенный печной уголь такъ мягокъ, что пачкаетъ руки, а коксъ твердъ какъ камень.

Форма кристалловъ алмаза весьма отличается отъ формы, въ которой является кристаллизованный графитъ. Наконецъ графитъ и алмазъ загораются значительно труднѣе

личествъ угля замѣчательно измѣняетъ свойства желѣза. Въ особенности важно, что чугунъ и сталь плавятся гораздо легче чистаго желѣза (отливка чугунныхъ и стальныхъ вещей), и то любопытное свойство стали, на которомъ основывается ея закалка и отжиганіе (см. выше, § 129), а отсюда—ея обработка и примѣненія.

угля: они соединяются съ кислородомъ лишь при очень высокой температурѣ [1].

Органическія или углеродистыя вещества.

198. Соединенія углерода особенно многочисленны въ растительномъ и животномъ мірѣ. Крахмалъ и сахаръ извлекаются изъ растеній; стеаринъ, сало — изъ животнаго организма; спиртъ есть продуктъ особаго измѣненія (броженія) сусла, получаемаго изъ зерновогo хлѣба или картофеля. Эти и подобныя имъ вещества, получаемые изъ организмовъ растеній и животныхъ—прямо или путемъ нѣкоторыхъ переработокъ—носятъ названіе органическихъ веществъ; многія изъ нихъ впрочемъ могутъ быть получены и искусственно, помимо растеній и животныхъ.

Углеродъ и водородъ входятъ въ составъ всѣхъ органическихъ веществъ. Одни состоятъ изъ углерода и водорода (т. е. представляютъ собою углеводороды); другіе—преобладающее большинство — изъ углерода, водорода и кислорода; третьи, напр. мясо и яичный бѣлокъ, содержатъ въ составѣ еще небольшія количества азота, сѣры, фосфора: они составляютъ главный матерьялъ мясной пищи.

Углеродъ—тотъ элементъ всѣхъ органическихъ веществъ, которому они обязаны многими своими особенностями, отличающими ихъ отъ неорганическихъ или минеральныхъ тѣлъ. Они поэтому называются еще углеродистыми веществами.

199*. Главныя особенности органическихъ или углеродистыхъ веществъ, на которыя здѣсь необходимо указать, слѣдующія:

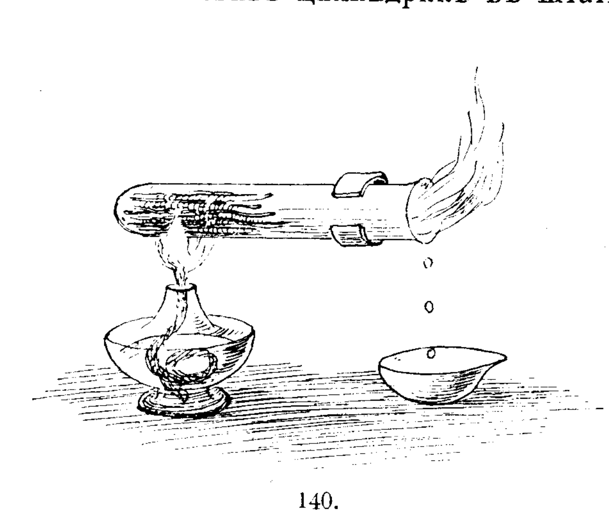
1) Бо́льшая часть органическихъ веществъ легко обугливаются и сгораютъ. Обыкновенно очень просто бываетъ отличить по этому признаку органическое вещество отъ минеральнаго. Сто́итъ только нагрѣть немного вещества надъ пламенемъ на желѣзной (лучше платиновой) пластинкѣ: органическое вещество обуглится и сгоритъ (примѣры были выше).

---

[1] И въ этомъ причина, почему алмазъ и графитъ мы не относимъ къ „горючимъ“ матерьяламъ, такъ же, какъ напр. желѣзо (см. выноску § 184).

2) При нагрѣваніи без ъ доступа воздуха (или вообще при недостаточномъ для полнаго сгоранія притокѣ воздуха) органическое вещество обыкновенно даетъ начало большому числу продуктовъ — разлагается на много другихъ углеродистыхъ соединеній. Для примѣра возьмемъ разложеніе дерева отъ жара.

Наложимъ въ пробирный цилиндрикъ древесныхъ лучинокъ. Установивъ цилиндрикъ въ штативѣ почти горизонтально, съ легкимъ наклономъ въ сторону отверстія, нагрѣемъ дерево на огнѣ (рис. 140). Прежде всего въ цилинрикѣ, около выхода, появится вода: всякое дерево, даже то, которое обыкновенно считается „сухимъ“, содержитъ воду. Затѣмъ лучинки начнутъ обугливаться, а изъ пробирки будутъ выдѣляться газообразныя вещества и дымъ ѣдкаго запаха; часть продуктовъ разложенія скоро станетъ сгущаться у конца пробирки въ бурую жидкость. Если къ отверстію поднести огонь, то газы загораются довольно яркимъ пламенемъ. Въ подставленную подъ отверстіе пробирки чашечку можно собрать нѣсколько капель темной жидкости съ сильнымъ запахомъ древеснаго дегтя. Въ пробиркѣ же остаются послѣ опыта черныя лосящіяся палочки угля.



140.

Дерево разлагается при этомъ слѣдующимъ образомъ: бóльшая часть его углерода выдѣляется въ видѣ обыкновеннаго угля; другая же часть углерода, вмѣстѣ съ водородомъ, кислородомъ (и небольшимъ количествомъ азота, заключащагося въ деревѣ) образуетъ много жидкихъ и газообразныхъ соединеній — тѣ летучіе продукты, выдѣленіе которыхъ можно было наблюдать въ вышеописанномъ опытѣ. Такимъ образомъ получаются: 1) уголь; 2) соединеніе водорода съ кислородомъ—вода; 3) соединенія ~~водорода~~ съ кислородомъ—углекислый газъ и окись углерода; 4) соединенія углерода съ водородомъ—углеводороды; 5) болѣе сложныя соединенія, состоящія изъ углерода, водорода и кислорода (древесный спиртъ, древесный уксусъ, смолистыя вещества, образующія древесный деготь, и др.; участіе небольшого количества азота дѣлаетъ явленіе еще болѣе сложнымъ).

Подобнымъ же образомъ — впрочемъ съ различіями въ подробностяхъ и при различныхъ степеняхъ жара — разлагаются крахмалъ, сахаръ, стеаринъ, сало, винный спиртъ при нагрѣваніи безъ доступа воздуха. (Спиртъ напр. можно разложить, пропуская его пары чревъ сильно раскаленную фарфоровую трубку).

Процессъ разложенія дерева, каменнаго угля и многихъ другихъ органическихъ веществъ, нагрѣваемыхъ въ отсутствіи воздуха, называется сухой перегонкою. Она въ большомъ видѣ производится въ техникѣ для полученія различнѣйшихъ продуктовъ, находящихъ полезныя примѣненія въ практической жизни [1].

3) Наконецъ органическія вещества вообще легко и глубоко измѣняются отъ различныхъ причинъ: они гораздо менѣе стойки, чѣмъ минеральныя тѣла. Напримѣръ многія органическія вещества легко подвергаются „порчѣ“, гніенію (процессу, въ которомъ дѣятельное участіе принимаютъ мельчайшія живыя существа, т. наз. микроорганизмы), вслѣдствіе чего происходятъ новыя вещества, новыя сочетанія тѣхъ же элементовъ. Эта легкая измѣняемость веществъ, составляющихъ главный матерьялъ живыхъ организмовъ, есть необходимое условіе самой жизни, ибо жизненныя явленія

[1] Напримѣръ сухою перегонкою каменнаго угля добывается свѣтильный газъ (см. ниже, § 206). Остающійся послѣ этого коксъ есть превосходное топливо для полученія высокихъ температуръ.—О чрезвычайномъ разнообразіи веществъ, получаемыхъ на заводахъ при сухой перегонкѣ, нельзя дать и приблизительнаго понятія въ нѣсколькихъ словахъ. Назовемъ еще смолы (деготь), древесные спиртъ и уксусъ, скипидаръ, нашатырный спиртъ. Нѣкоторыя очень употребительныя яркія краски приготовляются путемъ сложной химической переработки продуктовъ сухой перегонки каменнаго угля. Изъ нихъ же получается довольно извѣстное нынѣ вещество—сахаринъ, замѣчательный своимъ сильно сладкимъ вкусомъ (онъ въ 300 — 400 разъ слаще обыкновеннаго сахара).

возможны лишь при постоянномъ измѣненіи и превращеніи веществъ внутри организма.

200. Органическія вещества не только составляютъ главную массу (если не считать воды) живыхъ организмовъ, населяющихъ сушу, воду и воздухъ, но въ видѣ остатковъ погибшихъ растеній и животныхъ всегда находятся въ почвѣ. Здѣсь эти остатки—главнымъ образомъ растительные—образуютъ такъ называемый перегной, придающій почвѣ темный цвѣтъ и способствующій ея плодородію. Залежи каменнаго угля и торфа — тоже остатки нѣкогда жившихъ на землѣ растеній, подвергшихся потомъ медленному разложенію, которое имѣетъ нѣкоторое сходство съ разложеніемъ дерева при нагрѣваніи безъ доступа воздуха (сухою перегонкою дерева).

Что такое пламя?

201. Возвращаясь еще разъ къ обыкновеннѣйшимъ примѣрамъ горѣнія — дерева, свѣчи — мы легко поймемъ теперь происхожденіе пламени.

Уголь можетъ горѣть (тлѣть), не давая пламени; желѣзо и другіе металлы тоже горятъ безъ пламени. Напротивъ, водородъ, свѣтильный газъ и другіе горючіе газы горятъ пламенемъ. Какимъ образомъ происходитъ пламя дерева, свѣчи?

„Зажигая“ кусокъ дерева, мы нагрѣваемъ нѣкоторую часть его до температуры разложенія матерьяла, и загораются собственно летучіе продукты сухой перегонки дерева (§ 199), а не самое дерево. Отъ той теплоты, которая затѣмъ развивается при ихъ горѣніи, сосѣднія части дерева также подвергаются сухой перегонкѣ, такъ что продукты разложенія являются матерьяломъ, образующимъ и питающимъ пламя. Если погасить разгорѣвшуюся лучину, то продукты сухой перегонки тотчасъ дѣлаются видимыми: они именно образуютъ дымъ.

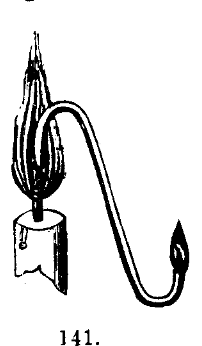
202. Нѣчто подобное происходитъ и при горѣніи свѣчи, въ чемъ можно убѣдиться простыми наблюденіями.

1) Когда, зажигая свѣчу, прикасаются къ свѣтильнѣ горящей спичкою, проходитъ весьма замѣтное время, прежде чѣмъ свѣча загорится. Требуется именно время, чтобы

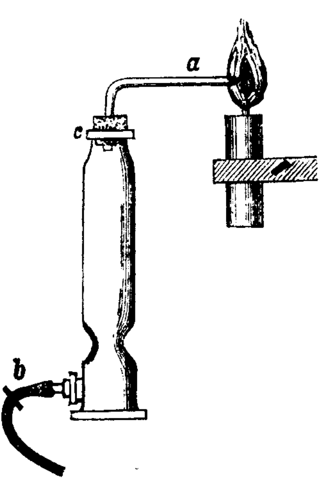
нагрѣть матерьялъ свѣтильни и пропитывающій ее стеаринъ до температуры, при которой начинается ихъ разложеніе.

2) Если погасить разгорѣвшуюся свѣчу, то отъ горячей еще свѣтильни поднимается бѣловатый дымокъ, который загорается при поднесеніи пламени спички.

3) Вставляя внутрь пламени, какъ можно ближе къ свѣтильнѣ, одинъ конецъ стеклянной трубочки, изогнутой, какъ показываетъ рис. 141, можно отвести часть продуктовъ сухой перегонки изъ внутреннихъ частей пламени и зажечь ихъ у другого конца трубочки. Еще лучше поступить слѣдующимъ образомъ.



141.



142.

Въ верхнюю часть цилиндра, употребляемаго химиками для осушенія газовъ (рис. 142), вставляютъ при помощи пробки изогнутую подъ прямымъ угломъ стеклянную трубку съ оттянутымъ кончикомъ (*a*); къ нижнему же горлу присоединяютъ резиновую трубку съ надѣтымъ на нее винтовымъ зажимомъ (b). Цилиндръ наполняется водою. Тонкій кончикъ стеклянной трубки вставляютъ во внутреннюю (темную) часть пламени стеариновой—хорошо разгорѣвшейся—свѣчи и даютъ водѣ вытекать, пріоткрывъ зажимъ: цилиндръ скоро наполняется бѣлымъ дымомъ — продуктами разложенія стеарина отъ жара. Во время ихъ перехода въ цилиндръ пламя дѣлается меньше и слабѣе — вслѣдствіе того конечно, что отъ него отнимается горючій матерьялъ. Закрывъ зажимъ и открывъ цилиндръ, подносятъ къ его от-

верстію зажженую спичку и вливаютъ въ него воду изъ кружки: продукты разложенія сгораютъ большимъ свѣтлымъ пламенемъ [1].

Итакъ горѣніе свѣчи есть собственно горѣніе летучихъ продуктовъ разложенія матерьяла, изъ котораго сдѣлана свѣча (стеарина, воска, сала). Пламя состоитъ изъ горящихъ и накаленныхъ горѣніемъ газообразныхъ тѣлъ.

203. Водородъ, сѣра — горятъ настолько мало свѣтящимъ пламенемъ, что оно едва замѣтно при дневномъ свѣтѣ. Отчего свѣтитъ пламя свѣчи?

Если внести въ пламя водорода тонкую платиновую проволочку (лучше, если конецъ ея скрученъ плотной спиралью), то она раскаляется и издаетъ яркій свѣтъ. Температура водороднаго пламени очень высока; но оно не свѣтитъ потому, что въ немъ нѣтъ твердыхъ частицъ, которыя могли бы, раскаливаясь, издавать свѣтъ. Такія частицы напротивъ имѣются въ пламени свѣчи: это „копоть", состоящая главнымъ образомъ изъ мелкораздробленнаго угля—продукта разложенія газовъ пламени отъ жара. Твердыя (и жидкія) тѣла при высокой температурѣ становятся ярко-свѣтящими; раскаленные же газы издаютъ яркій свѣтъ только въ исключительныхъ случаяхъ.

Вводя въ водородное пламя твердыя частицы, можно и его сдѣлать свѣтящимъ. Такъ будетъ напр., если всыпать въ пламя очень мелкій песокъ или порошокъ угля. Еще лучше пропустить водородъ чрезъ трубку съ ватой, пропитанной бензиномъ (смѣсь летучихъ углеводородовъ, § 196). Водородъ горитъ тогда весьма яркимъ пламенемъ. Свѣтъ издаютъ здѣсь опять мельчайшія раскаленныя частички

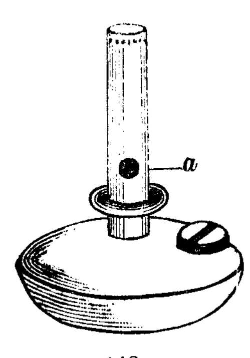
[1] Приборъ можно конечно сдѣлать проще—изъ двугорлой склянки. Весьма поучителенъ также слѣдующій опытъ. Пол-листа писчей бумаги свертываютъ въ коническую трубку и, держа ее наклонно широкимъ концомъ внизъ, зажигаютъ этотъ конецъ. Продукты разложенія бумаги, не сгорѣвшіе (по недостатку воздуха) внутри трубки, выходятъ изъ ея верхняго отверстія, гдѣ и могутъ быть зажжены. Отсюда кстати видно, что дымъ—продуктъ разложенія (или неполнаго сгоранія) горючаго матерьяла—тоже есть горючій матерьялъ, который можетъ быть использованъ какъ топливо, особенно если онъ содержитъ много угля (густой черный дымъ заводскихъ трубъ, пароходовъ и паровозовъ).

угля, которыя появляются въ пламени водорода отъ разложенія бензинныхъ паровъ. Можно убѣдиться въ самомъ дѣлѣ, что пламя теперь коптитъ.

Яркій свѣтъ, испускаемый горящимъ магніемъ, зависитъ отъ того, что твердый продуктъ горѣнія, магнезія, накаливается до очень высокой температуры.

204. Значеніе угольныхъ частичекъ въ обыкновенномъ пламени хорошо наблюдается на бензинныхъ и газовыхъ лампахъ, назначаемыхъ для нагрѣванія.

Горѣлка напр. бензинной лампы (Игнатова) состоитъ изъ резервуара съ трубкою (рис. 143), въ которую снизу чрезъ маленькое отверстіе поступаютъ пары бензина (предварительно разогрѣваемаго спиртовымъ пламенемъ); въ отверстія *a*, играющія роль поддувалъ, входитъ воздухъ, смѣшивающійся въ трубкѣ съ бензинными парами. Вслѣдствіе значительнаго притока воздуха, пары бензина сгораютъ слабо-свѣтящимъ синимъ пламенемъ очень высокой температуры. Но стоитъ лишь прикрыть поддувала (бумагой), чтобы пламя стало свѣтить и вмѣстѣ съ тѣмъ коптить. Температура пламени при этомъ понижается, потому что часть горючаго матерьяла (угля) не успѣваетъ сгорать внутри пламени. Для полученія наиболѣе сильнаго жара притокъ воздуха долженъ быть достаточнымъ, чтобы могъ сгорѣть весь уголь, но конечно не избыточнымъ, ибо тогда напрасно охлаждалось бы пламя [1].

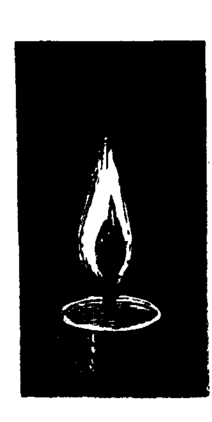


143.

205. Разсматривая пламя свѣчи (рис. 144), можно замѣтить въ немъ три нерѣзко разграниченныхъ части. 1) Во внутренней, темной, продукты разложенія матерьяла

[1] На этомъ именно началѣ основано устройство такъ наз. бунзеновскихъ газовыхъ горѣлокъ, необходимой принадлежности благоустроенныхъ лабораторій. Изъ бензинныхъ лампъ Игнатова при производствѣ опытовъ очень удобна та, которая устроена по точному образцу бунзеновской горѣлки. Жаръ хорошаго бензиннаго пламени настолько великъ, что въ немъ замѣтно оплавляется кончикъ тонкаго платиноваго волоска. — (Къ сожалѣнію производство игнатовскихъ лампъ нынѣ кажется прекратилось).

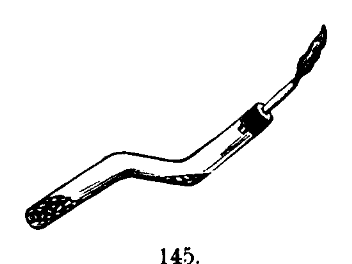
свѣчи еще не горятъ—по недостатку воздуха, притокъ котораго затрудненъ окружающими частями пламени. Температура здѣсь настолько низка, что недостаточна напр. для зажиганія дерева. Если внести въ пламя на короткое время тонкую лучинку, такъ чтобы часть ея была въ темномъ пространствѣ, то можно видѣть, вынувъ лучинку, что обугливаніе дерева начинается не съ внутренней части пламени. 2) Вторая часть, свѣтлая оболочка, есть то пространство, гдѣ горючіе продукты частью сгораютъ, частью разлагаются жаромъ горѣнія, выдѣляя уголь; накаливаніе послѣдняго и обусловливаетъ свѣченіе пламени. Въ наружныхъ частяхъ этой оболочки горѣніе заканчивается—все горючее превращается въ углекислый газъ и водяные пары. 3) Нижняя наружная часть, синяго цвѣта: здѣсь сгораніе, вслѣдствіе изобильнаго притока воздуха, полное.—Температура пламени слѣдовательно очень различна въ разныхъ его мѣстахъ; она конечно всего выше въ тѣхъ частяхъ его, въ которыхъ происходитъ полное сгораніе и которыя однако не охлаждаются избыточнымъ притокомъ воздуха.



144.

206. Изъ опытовъ надъ пламенемъ (§ 202) мы видѣли, что продукты сухой перегонки горючаго матерьяла могутъ быть сжигаемы внѣ мѣста ихъ образованія. Газовое освѣщеніе представляетъ въ большихъ размѣрахъ именно подобный случай. Вмѣсто того, чтобы сжигать дерево или каменный уголь, можно путемъ сухой перегонки получить изъ нихъ горючіе газы, которые и провести куда нужно. Свѣтильный газъ обыкновенно добываютъ накаливаніемъ безъ доступа воздуха нѣкоторыхъ сортовъ каменнаго угля.

Чтобы произвести опытъ въ маломъ видѣ, накаливаютъ истолченный каменный уголь (жирныхъ сор-



145.

товъ) въ изогнутой двумя колѣнами тугоплавкой стеклянной трубкѣ (рис. 145). Изъ трубочки, вставленной въ пробку, выдѣляется газъ, горящій яркимъ пламенемъ. Въ колѣнѣ трубки собирается бурая жидкость, состоящая изъ менѣе летучихъ продуктовъ сухой перегонки.

Полученные такимъ образомъ газообразные продукты имѣютъ много общаго съ тѣми горючими газами, которые образуются при сухой перегонкѣ дерева (§ 199). Будучи очищены отъ нѣкоторыхъ вредныхъ или мѣшающихъ горѣнію примѣсей, они и составляютъ обыкновенный свѣтильный газъ. Это — смѣсь главнымъ образомъ нѣсколькихъ углеводородовъ (между которыми преобладаетъ упомянутый въ § 196 болотный газъ), водорода и окиси углерода.

Возвращаясь еще разъ къ горящей свѣчѣ, можно теперь сказать, что она представляетъ собою миніатюрный газовый заводъ, съ тою лишь разницею, что продукты сухой перегонки сжигаются у самаго мѣста ихъ возникновенія.

Круговоротъ углерода въ органическомъ мірѣ.

207. Углекислый газъ не только образуется при горѣніи нашихъ обыкновенныхъ (углеродистыхъ) горючихъ матерьяловъ, но и выдѣляется всѣми живыми организмами. Напр. воздухъ, выдыхаемый нашими легкими, содержитъ значительную примѣсь углекислаго газа, въ чемъ легко убѣдиться, какъ извѣстно, продувая этотъ воздухъ чрезъ известковую воду: она даетъ бѣлый осадокъ углекислой извести (см. § 15). Доказано, что жизнь животныхъ и растительныхъ организмовъ сопровождается постояннымъ выдѣленіемъ углекислаго газа.

Такимъ образомъ къ кислороду и азоту воздуха постоянно примѣшанъ углекислый газъ. Но присутствіе его обыкновенно не обнаруживается тотчасъ при взбалтываніи съ известковой водою, потому что количество углекислаго газа въ воздухѣ очень мало. „Чистый“ воздухъ, воздухъ полей и лѣсовъ, содержитъ въ 10000 объемахъ всего около 3 объемовъ углекислаго газа. Въ воздухѣ жилыхъ помѣщеній, особенно такихъ, гдѣ скучивается много народа, количество углекислаго газа можетъ значительно превы-

шать эту норму: тогда воздухъ становится вреднымъ для дыханія [1].

208. Казалось бы, что при огромномъ числѣ живущихъ на землѣ организмовъ, постоянно выдѣляющихъ углекислый газъ, и при большомъ количествѣ сожигаемаго топлива, содержаніе углекислаго газа въ воздухѣ должно постепенно увеличиваться и наконецъ сдѣлать нашу атмосферу негодною для поддержанія жизни. Но существуетъ процессъ, пополняющій количество кислорода въ воздухѣ по мѣрѣ его расходованія. Процессъ этотъ совершается въ зеленыхъ частяхъ растеній, т. е. въ тѣхъ частяхъ ихъ, которыя содержатъ „листозелень" (хлорофиллъ). Подъ вліяніемъ солнечныхъ лучей онѣ разлагаютъ углекислый газъ воздуха: углеродъ дѣлается составною частью тѣла растенія (идетъ на ихъ ростъ), а кислородъ выдѣляется въ воздухъ. Разсчетъ показываетъ, что такимъ путемъ можетъ приблизительно поддерживаться постоянство состава нашей атмосферы.

Любопытно прослѣдить судьбу углерода, входящаго въ составъ углекислаго газа нашей атмосферы. Растенія, разлагая въ своихъ зеленыхъ частяхъ углекислый газъ воздуха, усваиваютъ его углеродъ и частью въ процессѣ дыханія снова отдаютъ его атмосферѣ въ видѣ углекислаго газа. Но растенія или поглощаются въ качествѣ пищи животными, или умираютъ, подвергаясь затѣмъ гніенію и разложенію. Въ первомъ случаѣ углеродъ растеній дѣлается составною частью тѣла животныхъ (травоядныхъ, а чрезъ нихъ и плотоядныхъ) и при ихъ дыханіи возвращается въ атмосферу снова въ видѣ углекислаго газа. Во второмъ случаѣ процессы гніенія и разложенія ведутъ въ концѣ концовъ къ тому же: углеродъ частью попадаетъ въ атмосферу въ видѣ углекислаго газа, частью образуетъ съ теченіемъ времени торфяники, а въ давніе вѣка образовалъ залежи

[1] Углекислый газъ самъ по себѣ безвреденъ (извѣстно, что мы охотно принимаемъ его внутрь вмѣстѣ съ различными шипучими напитками). Но когда воздухъ переполняется углекислымъ газомъ, относительное количество кислорода, необходимаго для дыханія, становится конечно меньше. Кромѣ того при дыханіи и горѣніи, вмѣстѣ съ углекислымъ газомъ, обыкновенно выдѣляются въ воздухъ и нѣкоторыя другія вещества, иногда прямо вредныя для нашего организма.

каменнаго угля; сжигая каменный уголь и торфъ, мы опять возвращаемъ воздуху, въ формѣ углекислаго газа, тотъ углеродъ, который нѣкогда пошелъ на ихъ образованіе.

Таковъ въ самыхъ общихъ чертахъ круговоротъ углерода въ органическомъ мірѣ, происходящій при посредствѣ атмосфернаго воздуха. Можно утверждать, основываясь на многочисленныхъ и точнѣйшихъ опытахъ, что при этомъ ни малѣйшая частичка углерода не пропадаетъ: углеродъ лишь проходитъ чрезъ множество химическихъ соединеній, образуетъ различнѣйшія сочетанія съ другими элементами, но общее количество его остается неизмѣннымъ.

Законъ сохраненія количества (массы) вещества.

209. Разобранный только что примѣръ даетъ намъ понятіе объ одномъ изъ основныхъ законовъ всего доступнаго намъ міра. Точнѣйшими химическими изслѣдованіями (главнымъ образомъ прошлаго — XIX — столѣтія) доказано, что вещество не пропадаетъ и не возникаетъ ни при какихъ извѣстныхъ намъ превращеніяхъ, — установленъ законъ сохраненія количества или массы вещества.

Этотъ законъ—путеводная нить въ рукахъ химика-изслѣдователя. Если тѣла, получающіяся послѣ какого нибудь сложнаго химическаго превращенія, вмѣстѣ вѣсятъ столько же, сколько вѣсили взятыя для опыта, то это значитъ, что ни одинъ изъ вещественныхъ продуктовъ превращенія не былъ упущенъ изъ виду. Изслѣдуя случаи кажущагося отступленія отъ закона, не разъ открывали новыя вещества.

Прибавленіе: о составѣ атмосфернаго воздуха.

210*. Въ заключеніе сдѣлаемъ перечень главнѣйшихъ составныхъ частей нашей атмосферы:

Кислородъ, составляющій около 1/5 объема воздуха;
Азотъ " " 4/5 " "

Углекислый газъ—около 3 объемовъ на 10000 объемовъ воздуха.

Водяные пары—въ количествѣ весьма измѣнчивомъ.

О значеніи кислорода и углекислаго газа было уже сказано (§§ 175 и 208). Азотъ играетъ роль главнымъ образомъ разбавляющую. Чрезвычайная важность присутствія водяныхъ паровъ въ воздухѣ слѣдуетъ уже изъ того, что необходимою составною частью каждаго живого организма (и притомъ въ большомъ количествѣ) является вода: быстрое испареніе воды изъ организма въ воздухъ, лишенный водяныхъ паровъ, повлекло бы живыя существа къ неминуемой гибели.

Кромѣ названныхъ здѣсь главныхъ составныхъ частей, атмосферный воздухъ содержитъ еще множество другихъ, впрочемъ обыкновенно въ ничтожныхъ количествахъ.

Каждая изъ составныхъ частей воздуха сохраняетъ въ немъ свои отличительные признаки, и свойства воздуха представляетъ собою нѣчто среднее между свойствами составляющихъ его газовъ. Газы воздуха смѣшаны въ немъ такъ, какъ смѣшиваются между собою нѣкоторыя жидкости—какъ вино и вода (если не идти дальше примѣровъ всѣмъ извѣстныхъ), а не соединены химически между собою.

---

189. Горящая свѣча гаснетъ подъ водою; но она гаснетъ и въ углекисломъ газѣ, и въ азотѣ, и въ водородѣ. Какая общая причина того, что горѣніе здѣсь не можетъ продолжаться? *Отв.* Отсутствіе воздуха.—**190.** Почему нельзя думать, чтобы вода, осаждающаяся на днѣ кастрюльки при нагрѣваніи спиртовой лампой, бралась *изъ окружающаго воздуха?* (При какомъ условіи водяной паръ, содержащійся въ воздухѣ, переходитъ въ жидкую воду?).—**191.** Можно ли безъ особыхъ опытовъ заключить, что горѣніе свѣчи состоитъ именно въ *соединеніи* горючаго матерьяла съ кислоромъ воздуха? Какое предположеніе относительно образованія углекислаго газа и воды можно было бы еще сдѣлать, имѣя въ виду, что стеаринъ тѣло сложное?—На чемъ основывается наше обычное раздѣленіе тѣлъ на горючія и негорючія? При какихъ обстоятельствахъ желѣзо могло бы быть причислено къ горючимъ матерьяламъ? (См. также §§ 178 и 184 гл. XI).—Большинство камней не горятъ въ воздухѣ (или кислородѣ) ни при какомъ накаливаніи; что это значитъ?—**193.** Изъ чего слѣдуетъ, что уголь, получающійся чрезъ нагрѣваніе дерева или сахара безъ доступа воздуха, составляетъ *часть* вещества дерева или сахара? Не могутъ ли дать здѣсь указанія вѣсы?—**194.** Углекислый газъ состоитъ по вѣсу изъ $^3/_{11}$ угля и $^8/_{11}$ кислорода, а угарный газъ (окись углерода)—изъ $^3/_7$ вѣс. ч. угля и $^4/_7$ ч. кислорода. Показать, что въ послѣднемъ *на одно и то же количество угля* приходится *вдвое* меньше кислорода, чѣмъ въ углекисломъ газѣ. *Отв.* Отношеніе $^3/_{11} : {}^8/_{11} = 3 : 8$, а $^3/_7 : {}^4/_7 = 3 : 4$.—**196.** Сколько углекислаго газа и воды образуется при полномъ сгораніи 4 фунт. болотнаго газа? (См. въ §§ 179 и 196 вѣс. составъ воды и болотнаго газа, а также въ предыдущемъ вопросѣ вѣс. составъ углекислаго газа).—**199.** Что образуется при *полномъ сгораніи* тѣлъ, состоящихъ изъ угля и водорода, и такихъ, которыя состоятъ изъ угля, водорода и кислорода?—Составъ чистаго виннаго спирта, въ простѣйшихъ числахъ, слѣдующій: 12 вѣс. ч. угля, 3 ч. водорода и 8 ч. кислорода. Найти „процентное содержаніе" угля въ винномъ спиртѣ, т. е. вѣс. количество угля, приходящееся на 100 вѣс. единицъ (фунтовъ, пудовъ, килограммовъ и т. п.) спирта. *Отв.* $^{12}/_{23} . 100 = 52\%$ слишкомъ, т. е. *больше половины* всего вѣса спирта [1].—Сколько граммовъ углекислаго газа и воды образуется при полномъ сгораніи 23 граммовъ чистаго виннаго спирта? (См. предыдущій вопросъ, а также вопр. § 194; вѣс. составъ воды—§ 179).—Углекислый газъ, образующійся при сгораніи напр. виннаго спирта, какъ доказано опытами, занимаетъ объемъ *равный объему пошедшаго на его образованіе кислорода*. Можно ли поэтому, сжигая спиртъ въ замкнутомъ пространствѣ съ воздухомъ (напр. въ банкѣ, опрокинутой краями въ воду), приписать наблюдаемое вслѣдъ затѣмъ уменьшеніе объема исчезновенію кислорода? [2].—Углеродистыхъ веществъ, состоящихъ изъ трехъ простыхъ тѣлъ: угля, водорода и кислорода, огромное множество, и свойства ихъ чрезвычайно разнообразны. Чѣмъ можно (хотя отчасти) объяснить себѣ это разнообразіе, если элементарныхъ составныхъ частей всего только три? *Отв.* Различіемъ вѣсовыхъ отношеній, въ которыхъ соединяются между собою эти три простыхъ тѣла.—**210.** Почему въ комнатѣ, гдѣ горитъ много свѣчей, становится душно? Почему то же бываетъ при многолюдномъ собраніи въ сравнительно тѣсномъ помѣщеніи? Что общаго между обоими явленіями?—Если бы атмосферный воздухъ содержалъ *водородъ* вмѣсто *азота*, то онъ вѣроятно былъ бы тоже пригоденъ для поддержанія нашей жизни; но что могло бы тогда произойти при соприкосновеніи его съ раскаленнымъ тѣломъ, съ огнемъ?—Известковая вода мутится при долгомъ стояніи на воздухѣ или продолжительномъ взбалтываніи съ нимъ. Почему?

---

[1] Одинъ изъ множества примѣровъ того, какъ глубоко можетъ измѣниться простое тѣло, сдѣлавшись „элементомъ" химическаго соединенія.

[2] Въ дѣйствительности вода послѣ сжиганія спирта поднимается въ банкѣ главнымъ образомъ потому, что воздухъ, расширяясь отъ нагрѣванія, частью выходитъ изъ банки наружу.

Положимъ, мы не знали бы, что кислородъ и уголь—тѣла химически-простыя, и пусть при сжиганіи угля въ кислородѣ мы получили углекислый газъ. Имѣли ли бы мы право заключить отсюда, безъ какихъ-либо другихъ опытовъ, что углекислый газъ происходитъ именно чрезъ *соединеніе* угля и кислорода? Какъ еще иначе могъ бы произойти углекислый газъ, если бы одно изъ взятыхъ тѣлъ или оба были сложными?

XIII.

Обзоръ свойствъ общихъ всѣмъ тѣламъ. Общій взглядъ на химическія превращенія. Гипотеза частичнаго строенія тѣлъ. Объ отношеніи нашихъ чувствъ къ явленіямъ внѣшняго міра.

Обзоръ свойствъ общихъ всѣмъ тѣламъ.

211. Теперь полезно будетъ сдѣлать краткій повторительный обзоръ свѣдѣній, сообщенныхъ въ предшествовавшихъ главахъ; вмѣстѣ съ тѣмъ представится случай расширить ихъ нѣкоторыми добавленіями и обобщеніями. Сдѣлаемъ сперва перечень общихъ всѣмъ тѣламъ свойствъ на основаніи предыдущаго матерьяла.

1) Физическое тѣло занимаетъ часть пространства и сопротивляется проникновенію другого тѣла въ это пространство. Безъ этого свойства[1] нельзя представить себѣ физическаго тѣла. Когда мы хотимъ убѣдиться въ „тѣлесности" какого-нибудь предмета, мы прежде всего ищемъ случая осязать его. Притрагиваясь же къ вещественному предмету, мы чувствуемъ, что онъ сопротивляется проникновенію въ него нашихъ пальцевъ или другихъ частей нашего тѣла. Если тѣло недоступно нашему прикосновенію, напр. по своей отдаленности (таковы всѣ небесныя тѣла), то мы во всякомъ случаѣ ясно представляемъ себѣ, что оно способно вызвать въ насъ хорошо знакомое намъ осязательное ощущеніе. Воздухъ и воздухообразныя тѣла, которыя въ спокойномъ состояніи обыкновенно не осязаемы (вслѣдствіе ихъ большой подвижности и легкости), не сразу признаются нами за вещественные. Однако простые

[1] Оно очень мѣтко называется по нѣмецки Raumerfüllung. По-русски его можно было бы назвать „физической протяженностью"—въ отличіе отъ протяженности „геометрической", съ которою связывается наше представленіе о воображаемыхъ или геометрическихъ тѣлахъ.

опыты убѣждаютъ насъ, что газы, подобно тѣламъ непосредственно доступнымъ нашему осязанію, сопротивляются сдавливанію, если ихъ сжимать въ закрытомъ со всѣхъ сторонъ помѣщеніи. Прибавимъ, что въ случаѣ сильно сжатыхъ газовъ это сопротивленіе становится громаднымъ—такимъ же, какъ сопротивленіе жидкостей и твердыхъ тѣлъ.

2) Всякое тѣло можетъ двигаться и передавать движеніе другимъ тѣламъ. Предоставленное самому себѣ, тѣло или остается въ покоѣ, или движется равномѣрно и прямолинейно; само собою оно не способно ни начать двигаться, ни измѣнить того движенія, которое ему сообщено внѣшними причинами (дѣйствіемъ другихъ тѣлъ),—оно инертно.

3) Объемъ тѣла, или часть пространства, имъ занимаемая, болѣе или менѣе уменьшается при увеличеніи внѣшняго давленія (сжимаемость тѣлъ). Сильнѣе всего сжимаются газы; сжимаемость жидкихъ и твердыхъ тѣлъ сравнительно ничтожна. Зависимость между объемомъ и давленіемъ газа, съ большимъ или меньшимъ приближеніемъ, выражается закономъ Бойля (Маріотта): объемъ даннаго количества газа — при неизмѣнной температурѣ — обратно пропорціоналенъ давленію. Отступленія отъ этой правильности не вполнѣ одинаковы для разныхъ газовъ и вообще становятся тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше давленіе. При очень большихъ давленіяхъ газъ настолько уплотняется, что дальнѣйшая сжимаемость его становится очень малою (онъ можетъ перейти и въ жидкое состояніе). Напр. воздухъ при давленіи въ 2700 атмосферъ сжимается только въ 800 разъ, и дальнѣйшее повышеніе давленія едва уменьшаетъ его объемъ[1]. Припомнимъ еще, что объемъ даннаго количества газа можетъ измѣняться въ очень широкихъ границахъ: не найдено предѣла, дальше котораго газъ не сталъ бы расширяться, если устранить всякія къ тому препятствія.

100
$95\frac{1}{2}$
$89\frac{1}{2}$

146.

4) Тѣло, объемъ котораго уменьшенъ сдавливаніемъ, стремится возстановить свой первоначальный объемъ. Это свойство

[1] Представимъ себѣ столбъ воды, имѣющій при обыкновенномъ атм. давленіи объемъ 100 (на рис. 146 высота столба взята = 100 мм.) въ совершенно неподатливомъ сосудѣ. Если съ помощью поршня произвести на воду давленіе въ 1000 атмосферъ (въ 1 тонну на кв. см.), то столбъ сожмется до объема $95^1/_2$ (первая пунктирная черта), а при 3000 атм. до $89^1/_2$ (вторая). Такой же столбъ обыкновеннаго атм. воздуха, будучи подвергнутъ давленію въ 3000 атм., занялъ бы высоту не больше толщины черты, которой на рисункѣ изображено основаніе сосуда.

тѣлъ называется „объемною упругостью“—въ отличіе отъ „упругости формы“, которая свойственна почти что только твердымъ тѣламъ.—Твердыя тѣла, подвергавшіяся дѣйствію достаточно большихъ силъ, не возвращаются потомъ въ точности къ своему первоначальному объему (надо замѣтить, что то же относится и къ ихъ формѣ); жидкости же и газы вполнѣ возстановляютъ его. Особенность газовъ состоитъ въ ихъ безграничномъ стремленіи увеличить свой объемъ; газъ, какъ бы сильно онъ разрѣженъ ни былъ, давитъ на стѣнки заключающаго его сосуда и всегда можетъ быть разсматриваемъ, какъ тѣло болѣе или менѣе сжатое.

5) Объемъ тѣла *при данномъ давленіи* зависитъ еще и отъ его температуры. Прибавка „при данномъ давленіи“ важна въ особенности для газовъ, такъ какъ объемъ ихъ въ широкихъ предѣлахъ измѣняется съ измѣненіемъ давленія.

6) *Всѣ тѣла взаимно-притягиваются*—стремятся сблизиться. Это притяженіе двухъ тѣлъ другъ къ другу тѣмъ сильнѣе, чѣмъ большее количество вещества содержится въ нихъ,—чѣмъ больше ихъ массы,—и чѣмъ меньше разстояніе; оно совершенно не зависитъ отъ различій въ *веществѣ*. Притяженіе между землею и земными предметами, сказывающееся въ ихъ вѣсѣ, есть лишь частный случай *всеобщаго тяготѣнія тѣлъ*[1].

212. Можно было бы назвать еще и другія свойства, которыя при тщательномъ, научно обставленномъ, наблюденіи оказались бы общими всѣмъ тѣламъ. Общность какого-либо свойства именно не всегда легко бываетъ подмѣтить. Изъ приведенныхъ выше напр. сжимаемость обнаруживается для твердыхъ и жидкихъ тѣлъ уже сравнительно сложными приспособленіями, такъ какъ она въ этихъ случаяхъ очень мала. Въ дѣйствительности такихъ свойствъ, которыя въ *большей или меньшей степени* присущи всѣмъ тѣламъ, существуетъ множество.

213. То, изъ чего состоятъ тѣла, называется *веществомъ* или *матеріей*. *Количество вещества* въ тѣлѣ есть нѣчто неизмѣнное и становится больше или меньше только съ прибавкою или отнятіемъ чего-нибудь вещественнаго. Выше (§ 112)

---

[1] Слѣдующій примѣръ даетъ нѣкоторое понятіе о ничтожно малой величинѣ *притяженія земныхъ предметовъ другъ къ другу*. Представимъ себѣ два свинцовыхъ шара съ радіусомъ въ 1 метръ (т. е. около сажени въ діаметрѣ), находящихся другъ отъ друга на такомъ разстояніи, что ихъ поверхности сближены до 1 сантиметра (2/5 дюйма). На основаніи данныхъ опыта можно вычислить, что эти шары (вѣсящіе около 3000 пуд. каждый) притягиваются другъ къ другу съ силою, которая равна вѣсу 4-граммовой гирьки (около золотника), что составляетъ одну *двѣнадцатимилліонную* долю вѣса каждаго изъ притягивающихся тѣлъ. Человѣческій волосъ можетъ, не разрываясь, удержать 100-граммовый грузъ; слѣдов. сила взаимнаго притяженія нашихъ шаровъ слишкомъ въ 25 разъ меньше той, отъ которой порвался бы волосъ.

было объяснено, при какихъ условіяхъ *о количествѣ вещества можно судить по его вѣсу*.

Смотря по тому, насколько глубоко измѣняется въ тѣхъ или иныхъ случаяхъ вещество тѣлъ, отличаютъ „физическія“ явленія—въ болѣе тѣсномъ смыслѣ—отъ „химическихъ“. Знакомство съ послѣдними въ особенности содѣйствуетъ расширенію нашихъ свѣдѣній объ измѣненіяхъ вещества.

Общій взглядъ на химическія превращенія.

214. Изъ различныхъ измѣненій, которымъ тѣла могутъ подвергаться, примѣры превращеній, называемыхъ химическими, наиболѣе поражаютъ своими особенностями. Эти особенности долгое время служили помѣхою правильному разрѣшенію вопроса о составѣ *однородныхъ тѣлъ* (см. § 169). Въ самомъ дѣлѣ, для того, чтобы узнать, нельзя ли изъ такого тѣла выдѣлить какіе-либо разнородныя составныя части, мы приводимъ его въ соприкосновеніе съ другими тѣлами (напр. растворителями), подвергаемъ дѣйствію тепла, пламени и пр. При этомъ тѣло сплошь и рядомъ *измѣняется до неузнаваемости*, а иногда исчезаетъ безъ всякаго видимаго остатка, и мы легко теряемся въ различныхъ догадкахъ о причинѣ происшедшаго явленія.

Однако настойчивое *изученіе* химическихъ превращеній (въ особенности съ конца XVIII столѣтія) мало по малу дало возможность разобраться въ нихъ—найти извѣстное единство въ ихъ безконечномъ разнообразіи. Огромную услугу здѣсь оказали *вѣсы*. Положимъ напр., что наблюдается превращеніе какого-нибудь металла при накаливаніи въ землистое вещество, повидимому не имѣющее ничего общаго съ металломъ. Въ чемъ состоитъ это превращеніе? Вѣсы показываютъ намъ, что окалина всегда вѣситъ *больше* исчезнувшаго металла. Слѣдовательно, заключаемъ мы, нѣчто вѣсомое, вещественное, присоединяется къ металлу. Изслѣдуя прикасающіяся къ металлу тѣла, мы находимъ, что это „нѣчто“ берется изъ воздуха, — что это составная часть воздуха, кислородъ. Затѣмъ возьмемъ горѣніе свѣчи. Горящая свѣча превращается въ невидимыя газообразныя тѣла. Мы собираемъ ихъ, взвѣшиваемъ и находимъ, что вѣсъ ихъ вмѣстѣ больше вѣса сгорѣвшей свѣчи. Значитъ и здѣсь происходитъ соединеніе горючаго матерьяла съ чѣмъ-то, что могло взяться только изъ воздуха. Изслѣдованіе воздуха, въ которомъ горѣла свѣча, показываетъ, что это „нѣчто“—тотъ же кислородъ. Такимъ образомъ, въ окончательномъ выводѣ, обнаруживается тѣсное родство такихъ повидимому чуждыхъ другъ другу явленій, какъ почернѣніе мѣдной пластинки въ пламени (образованіе окалины) и горѣніе свѣчи.

Положимъ еще, что какое-нибудь тѣло A, подвергаемое напр. дѣйствію жара, превращается въ новое, B, которое вѣситъ *меньше* взятаго (какъ кристаллы синяго купороса послѣ нагрѣванія). Безъ сомнѣнія, какое-либо вещество должно было отдѣ-

литься отъ *A*. Мы ищемъ его и находимъ нѣкоторое вещество *C*. Пусть взвѣшиваніе показало намъ, что вѣсъ тѣлъ *B* и *C* вмѣстѣ всегда равняется вѣсу первоначально взятаго тѣла *A*. Мы заключаемъ, что тѣла *B* и *C* могли произойти только изъ *A* (а не взялись со стороны), — что вещество тѣла *A* распадается на два другихъ, т. е. что оно сложное. Очень часто, приводя тѣла *B* и *C* въ соприкосновеніе и подвергая ихъ различнымъ внѣшнимъ дѣйствіямъ, удается снова получить изъ нихъ первоначальное тѣло *A* и этимъ еще разъ подтвердить правильность нашего заключенія, что оно разлагается именно на *B* и *C*.

Только взвѣшивая тѣла, взятыя для опыта и происшедшія послѣ него, мы можемъ быть увѣрены, что нисколько вещества не ускользнуло отъ нашего вниманія. Особенную цѣнность пріобрѣтаетъ взвѣшиваніе при работахъ съ газами, свойства которыхъ иногда съ трудомъ позволяютъ уловить все количество газа.

215. Нынѣ можетъ показаться страннымъ, что было время, когда, изслѣдуя превращенія тѣлъ съ цѣлью узнать ихъ составъ, почти не мѣрили и не взвѣшивали. Это было время *алхиміи*. Подвергая всевозможныя тѣла тѣмъ превращеніямъ, на которыя натолкнетъ случай, алхимики открыли и добыли много новыхъ тѣлъ. Но они блуждали въ потемкахъ относительно сути тѣхъ превращеній, съ которыми имѣли дѣло. Видя напримѣръ, что тѣло сгораетъ, превращается въ нѣчто легкое и невидимое, и не взвѣшивая продуктовъ горѣнія, они легко могли пріити къ заключенію, что вещество при этомъ, хотя частью, пропадаетъ, уничтожается. Другія явленія, напротивъ, могли дать поводъ думать, что вещество происходитъ изъ ничего. Много времени и труда пропадало напрасно въ надеждѣ раскрыть и объяснить необыкновенное разнообразіе превращеній путемъ такихъ случайныхъ опытовъ, не руководимыхъ не только правильною, но нерѣдко и никакой предвзятою мыслью.

Французскій ученый *Лавуазьè* былъ первый, который своими опытами (въ концѣ XVIII вѣка) сдѣлалъ взвѣшиваніе тѣлъ необходимою составною частью химическаго изслѣдованія. Онъ первый высказалъ ясно и опредѣленно, что *вещество не пропадаетъ и не возникаетъ вновь ни при какихъ извѣстныхъ намъ превращеніяхъ*, — открылъ *законъ сохраненія количества вещества*.

216. Другое цѣнное знаніе, котораго не имѣли алхимики, есть правильное *понятіе о простыхъ тѣлахъ*: оно также установлено Лавуазье. Это понятіе необыкновенно облегчаетъ задачу химика. Въ самомъ дѣлѣ, оно сразу ограничиваетъ число возможныхъ превращеній нѣсколькихъ взаимодѣйствующихъ тѣлъ. Изъ взятыхъ тѣлъ можно получить *не всякія другія*, а только такія, въ составъ которыхъ входятъ *тѣ же самые химическіе элементы*. Простое же тѣло не можетъ распадаться на части, которыя были бы отличны отъ него; оно можетъ „превращаться" не иначе, какъ дѣлаясь элементомъ другого тѣла; наконецъ простое тѣло не превращается въ другое простое. (Было время, когда вѣра въ возможность превращать „неблагородные" металлы въ серебро и золото дѣлалась источникомъ неусыпныхъ трудовъ цѣлой человѣческой жизни).

Съ изложенной точки зрѣнія химическія взаимодѣйствія состоятъ въ перестановкѣ элементовъ изъ одного сочетанія въ другое; *вѣсъ* (масса) каждаго изъ элементовъ, составляющихъ данныя тѣла, остается безъ измѣненія и въ новомъ ихъ сочетаніи.

Въ настоящее время въ химіи насчитываютъ *около восьмидесяти* тѣлъ, которыя не разлагаются на другія. Называя всѣ эти тѣла *простыми*, не утверждаютъ однако, чтобы всѣ они никогда не могли быть разложены: ихъ принимаютъ за послѣдніе элементы всѣхъ химически-сложныхъ тѣлъ только при тѣхъ средствахъ разложенія, которыми обладаетъ современная химія.

Изучить химическій составъ тѣла значитъ узнать, на *какія* простыя тѣла оно можетъ быть разложено, и каково *вѣсовое отношеніе* элементовъ въ соединеніи. Задача эта въ разныхъ случаяхъ рѣшается или путемъ *анализа*, т. е. разложенія тѣла на составныя части, или путемъ *синтеза*, т. е. полученія тѣла чрезъ соединеніе его составныхъ частей (послѣднее не всегда оказывается возможнымъ).

217. Таковъ отвѣтъ науки на вопросъ: изъ чего состоятъ однородныя тѣла? Отвѣтъ и на болѣе общій вопросъ: *изъ чего состоятъ тѣла природы?* Небольшое число разнородныхъ неразлагающихся веществъ, соединяясь между собою по два, по три и болѣе, образуютъ тотъ матерьялъ, изъ котораго природа строитъ свои безконечно-разнообразныя формы. Притомъ болѣе или менѣе важная роль въ устройствѣ всего окружающаго принадлежитъ меньше чѣмъ половинѣ всего числа простыхъ тѣлъ; роль остальныхъ повидимому второстепенна. Изслѣдованія второй половины прошлаго вѣка показали, что изъ тѣхъ же элементовъ, которые открыты на нашей планетѣ, построены и такъ называемыя неподвижныя звѣзды—въ томъ числѣ наше солнце [1].

Изученіе химическихъ превращеній даетъ изслѣдователю надежнѣйшее средство для рѣшенія вопроса *о тожествѣ или различіи вещества* тѣлъ, съ которыми ему приходится имѣть дѣло. Мы видѣли выше (§ 197), что напр. превращеніе алмаза при сгораніи въ углекислый газъ раскрываетъ намъ его истинную природу, обнаруживая *вещественное тожество* алмаза и угля, — двухъ тѣлъ столь различныхъ по физическимъ свойствамъ. Подобныхъ примѣровъ извѣстно множество.

---

[1] Нельзя не упомянуть здѣсь, что физико-химическія изслѣдованія самаго послѣдняго времени привели къ любопытнѣйшимъ открытіямъ, благодаря которымъ установившіеся взгляды на простыя тѣла повидимому должны будутъ значительно измѣниться.

Обширная наука, называемая **химіей**, имѣетъ предметомъ изученіе вещественныхъ превращеній въ родѣ тѣхъ, которыя были разсмотрѣны въ двухъ предшествовавшихъ главахъ. Она тѣснѣйшимъ образомъ связана со многими отдѣлами физики, такъ что безъ нѣкоторыхъ химическихъ свѣдѣній самое знакомство съ физикой, даже элементарное, заключало бы очень существенные пробѣлы.

Гипотеза частичнаго строенія тѣлъ.

218. Когда въ повседневной жизни наше вниманіе останавливается на какомъ-нибудь явленіи, причины котораго остаются для насъ скрытыми, мы обыкновенно стараемся истолковать его себѣ такъ или иначе, дѣлая тѣ или другія догадки. Наша склонность къ догадкамъ сказывается и въ научныхъ изслѣдованіяхъ: она пораждаетъ такъ называемыя гипотезы. Гипотеза есть способъ толкованія явленій, основанный на болѣе или менѣе вѣроятныхъ догадкахъ. Это — попытка нашего ума проникнуть въ сущность явленій глубже, чѣмъ позволяютъ тѣ средства наблюденія и опыта, которыя имѣются въ нашемъ распоряженіи.

219. По весьма распространенной нынѣ гипотезѣ, тѣла состоятъ изъ малѣйшихъ частицъ или молéкулъ, которыя находятся въ непрерывномъ движеніи. Молекулы сложены изъ еще меньшихъ — тоже движущихся — частичекъ, которыя называются áтомами. Размѣры молекулъ предполагаются чрезвычайно малыми — значительно меньшими того, что еще можно разсмотрѣть въ наши сильнѣйшіе микроскопы.

Въ твердыхъ и жидкихъ тѣлахъ болѣе или менѣе значительныя взаимодѣйствія связываютъ какъ атомы, такъ и молекулы въ одно цѣлое—въ то, что мы называемъ „тѣломъ". Связи, предполагаемыя между молекулами, называются общимъ именемъ частичныхъ взаимодѣйствій или также „молекулярныхъ силъ". Наиболѣе свободно движутся частицы газовъ: каждая частица газа несется — съ большой быстротою — прямолинейно, пока не столкнется съ другой частицею. Давленіе газа на стѣнки сосуда объясняется непрерывными ударами частицъ о стѣнки — какъ бы непрерывною „бомбардировкою" ихъ газовыми частицами. Частицы газа, не сдерживаемыя какою-либо преградою или ударами другихъ частицъ, быстро разлетаются въ стороны — газъ распространяется на бóльшій объемъ.

Съ изложенной точки зрѣнія все различіе между химически-простымъ и химически-сложнымъ тѣломъ сводится къ тому, что молекула простого тѣла составлена изъ однородныхъ (одинаковыхъ) атомовъ, а молекула сложнаго — изъ разнородныхъ.

Уменьшеніе объема вслѣдствіе сдавливанія весьма просто объясняется тѣмъ, что молекулы при этомъ сближаются. Наиболѣе сжимаемыми будутъ конечно тѣ тѣла, частицы которыхъ

всего дальше отстоятъ другъ отъ друга: таковы несомнѣнно газы. Сближеніе частицъ можетъ вызвать между ними новыя дѣйствія, стремящіяся возстановить ихъ первоначальныя взаимныя разстоянія (объемная упругость).

Взаимное проникновеніе тѣлъ, происходящее самопроизвольно (диффузія при соприкосновеніи газовъ, при раствореніи твердыхъ тѣлъ въ жидкостяхъ и пр., см. гл. VIII и X), также есть слѣдствіе молекулярнаго движенія: частицы одного тѣла, двигаясь и постоянно сталкиваясь, мало-по-малу проникаютъ въ сосѣднее пространство, занятое частицами другого тѣла. Въ газахъ молекулы наиболѣе свободны и движутся всего быстрѣе, а потому взаимное проникновеніе газовъ происходитъ всего легче.

220. Дабы объяснить себѣ расширеніе тѣлъ отъ нагрѣванія, предполагаютъ, что повышеніе температуры заставляетъ частицы двигаться быстрѣе, дѣлать бóльшіе размахи: отъ этого общее пространство, заполняемое частицами, увеличивается. Въ газѣ, находящемся въ плотно запертомъ сосудѣ, увеличеніе скорости молекулъ при нагрѣваніи производитъ то, что онѣ съ бóльшею силою ударяются о стѣнки сосуда: давленіе газа возрастаетъ.

Нагрѣваніе твердаго тѣла, усиливая молекулярное движеніе и увеличивая разстояніе между частицами, ослабляетъ существующія между ними связи; при продолжающемся повышеніи температуры эти связи наконецъ настолько ослабляются, что тѣло переходитъ въ состояніе болѣе подвижное, въ жидкость. Дальнѣйшее повышеніе температуры дѣлаетъ частицы еще менѣе зависимыми другъ отъ друга и онѣ, вслѣдствіе присущаго имъ движенія, стремятся разсѣяться во всѣ стороны: мы имѣемъ тѣло газообразное. При охлажденіи, наоборотъ, молекулярное движеніе ослабѣваетъ, и дѣйствіе внутреннихъ связей беретъ перевѣсъ: газообразное тѣло превращается въ жидкое и въ твердое. Понятно, что сжатіе, сближая частицы, будетъ вообще способствовать усиленію молекулярныхъ связей, т. е. будетъ содѣйствовать переходу въ жидкое состояніе.

Наконецъ наша гипотеза объясняетъ намъ и то, почему множество химически-сложныхъ тѣлъ при высокой температурѣ разлагаются на составляющія ихъ простыя тѣла. Усилившееся движеніе молекулъ влечетъ за собою и увеличеніе быстроты движенія атомовъ: междуатомныя связи ослабляются, и атомы сочетаются въ новыя, болѣе стойкія, молекулы — молекулы простыхъ тѣлъ.

Какъ видимъ, молекулярно-атомная гипотеза охватываетъ собою широкую область явленій, объединяя ихъ въ одной общей картинѣ. Въ современномъ знаніи она играетъ немаловажную роль и во множествѣ другихъ случаевъ. Тѣмъ не менѣе полезно всегда имѣть въ виду, что значеніе ея, такъ сказать, служебное,— что это лишь одинъ изъ способовъ толкованія, который со временемъ можетъ быть вытѣсненъ другимъ, дающимъ

болѣе полную и вѣрную картину явленій. Гипотезы не разъ смѣнялись и будутъ смѣняться въ наукѣ по мѣрѣ усовершенствованія способовъ наблюденія и расширенія нашихъ дѣйствительныхъ знаній.

О взаимодѣйствіи тѣлъ; внѣшній міръ и наши чувства.

221. Всякое измѣненіе въ положеніи тѣла или въ немъ самомъ обыкновенно производится другимъ тѣломъ. Мы говоримъ, что на него *дѣйствуетъ* нѣкоторое другое тѣло. Но и это послѣднее всегда подвергается дѣйствію перваго. Выше, въ гл. VII, было приведено достаточно примѣровъ для случаевъ *механическаго* дѣйствія, проявляющагося разнообразными *движеніями*. Но то же относится до всякаго иного дѣйствія. Когда какой-нибудь предметъ нагрѣвается, прикасаясь къ другому, имѣющему болѣе высокую температуру, послѣдній охлаждается. Напримѣръ введеніе какого-нибудь тѣла въ пламя спиртовой лампы или свѣчи неминуемо охлаждаетъ соприкасающуюся съ нимъ часть пламени; поэтому тѣло (проволока и т. п.) никогда не накаливается до температуры, свойственной самому пламени.—При химическомъ измѣненіи двухъ соприкасающихся тѣлъ, *каждое* подвергается дѣйствію другого—каждое измѣняется отъ дѣйствія другого; здѣсь это настолько очевидно что намъ уже приходилось выше прибѣгать къ выраженію: химическое „взаимодѣйствіе".— Сказанное можно распространить на всѣ явленія природы. *Всякое дѣйствіе есть взаимодѣйствіе.*

222. Между дѣйствіями предметовъ другъ на друга для насъ конечно особенно важны дѣйствія внѣшнихъ предметовъ *на насъ*, на органы нашихъ чувствъ, потому что съ этимъ связана наша жизнь и потому что здѣсь — источникъ всякихъ нашихъ знаній о внѣшнемъ мірѣ. Мы легко отличаемъ нѣкоторыя дѣйствія отъ другихъ по различію соотвѣтствующихъ ощущеній. Такъ, ощущая давленіе, видя свѣтъ, слыша звукъ, чувствуя тепло, мы заключаемъ о тѣхъ или другихъ внѣшнихъ дѣйствіяхъ. Но въ этомъ отношеніи надо быть очень осмотрительнымъ, какъ будетъ видно уже изъ слѣдующаго.

Во-первыхъ, *одинаковые* внѣшніе дѣятели могутъ вызывать въ насъ *разныя ощущенія*, смотря по органу чувства, на который они дѣйствуютъ, или по напряженности дѣйствія. Такъ легкое давленіе предмета на поверхность нашей кожи производитъ особое „осязательное" ощущеніе, а сильное (напр. при ударѣ)—боль; надавливаніе же на *глазъ* (зрительный нервъ) вызываетъ въ немъ ощущеніе *свѣта*, которое въ особенности замѣтно при ударѣ по глазу (общеизвѣстно выраженіе: изъ глаза посыпались искры). Солнечный лучъ на поверхности нашей кожи оставляетъ ощущеніе тепла, а на глазъ производитъ свѣтовое впечатлѣніе (отсюда названіе „тепловыхъ" и „свѣтовыхъ" лучей).

Сильно нагрѣтый предметъ производитъ въ насъ уже не тепловое, а *болевое* ощущеніе — жжется. И т. п.

Во-вторыхъ, *различные* внѣшніе дѣятели могутъ производить *одинаковыя* ощущенія — если именно они дѣйствуютъ *на одинъ и тотъ же органъ чувства*. Напр. отъ удара по глазу получается свѣтовое ощущеніе, т. е. то же, какое производитъ на него свѣтящій предметъ; нагрѣтый предметъ производитъ въ кожѣ ощущеніе тепла, какъ и солнечный лучъ. Прикосновеніе къ горячему предмету производитъ въ насъ ощущеніе боли отъ ожога; но то же самое можетъ быть вызвано лучами, испускаемыми напр. внутренностью раскаленной плавильной печи. И т. п. Опытъ вообще показываетъ, что при возбужденіи *какими бы то ни было* внѣшними причинами зрительныхъ нервовъ получается свѣтовое ощущеніе, слуховыхъ—звуковое и т. д.

Чтобы правильно судить о явленіяхъ внѣшняго міра, мы должны пріучиться строго отличать *наши ощущенія* отъ тѣхъ *внѣшнихъ дѣятелей*, которыми они могли быть вызваны,—точно такъ, какъ каждый отличаетъ *боль*, производимую ударомъ палки, отъ самаго *движенія палки*, причинившаго боль.

При нѣкоторой осмотрительности въ этомъ отношеніи, есть возможность соединять явленія въ группы или отдѣлы, основываясь на ощущеніяхъ, доставляемыхъ намъ тѣми или другими органами чувствъ. Таковы отдѣлы *звука, свѣта и теплоты*, которыхъ весьма удобно придерживаться въ элементарной физикѣ.

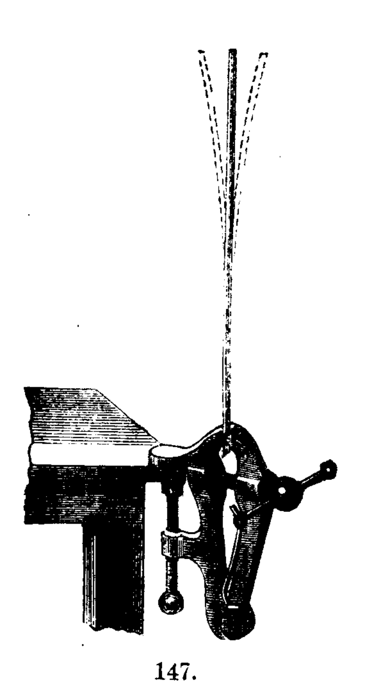
XIV.

Звукъ: его происхожденіе, распространеніе и отраженіе.

Какъ происходитъ звукъ?

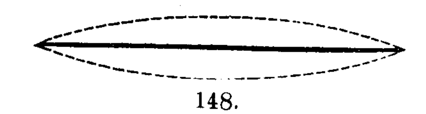
223*. Зажмемъ въ тиски, привинченные къ столу, одинъ конецъ стального прутка (рис. 147), отведемъ его за свободный конецъ немного въ сторону и отнимемъ руку. Прутокъ начнетъ качаться, колебаться, дѣлая все меньшіе и меньшіе размахи, пока не остановится. Колебанія прутка будутъ — при прочихъ равныхъ условіяхъ—тѣмъ быстрѣе, чѣмъ онъ короче. Если онъ взятъ достаточно длиннымъ, и колебанія

медленны, то мы не замѣтимъ ничего особеннаго. Но станемъ укорачивать прутокъ, зажимая его въ тискахъ все глубже и глубже. Колебанія его будутъ дѣлаться все чаще, и наконецъ мы услышимъ тонъ, сперва низкій, а потомъ, по мѣрѣ дальнѣйшаго укорачиванія прутка, все болѣе и болѣе высокій.



147.

Струна (веревка, резиновая трубка), слегка натянутая, тоже будетъ колебаться, если отвести ее въ сторону и отпустить (рис. 148). Пока струна натянута слабо и колеблется недостаточно быстро, она не звучитъ. Но, натянувъ ее сильнѣе и приведя въ колебаніе, мы услышимъ тонъ, который будетъ повышаться по мѣрѣ того, какъ мы будемъ подтягивать струну, т. е. по мѣрѣ того,



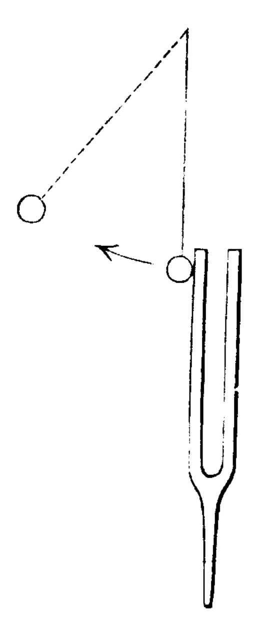
148.

какъ колебанія ея становятся чаще. Звучащая струна, если присмотрѣться къ ней (особенно при сильномъ освѣщеніи), кажется нѣсколько утолщенной посрединѣ, какъ бы веретенообразной.

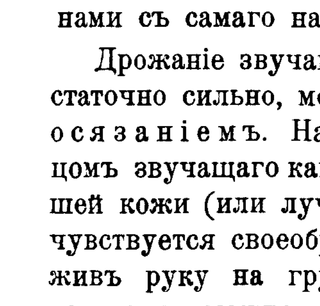
Если обратить вниманіе на нѣкоторыя другія звучащія тѣла, то можно убѣдиться, что когда тѣло издаетъ звукъ (тонъ), оно находится въ состояніи болѣе или менѣе быстрыхъ дрожаній или колебаній. По своей быстротѣ и малому размаху колебанія эти обыкновенно незамѣтны для глаза. Но существованіе ихъ часто можно обнаружить весьма простыми способами. Напр., если коснуться ножкой звучащаго камертона къ спичкѣ, положенной концами на два пальца, то спичка сбрасывается. Точно также отскакиваетъ отъ конца звучащаго камертона легкій шарикъ (стеклянная бусина), какъ представлено на рис. 149. Вода разбрызгивается, если коснуться ея поверхности концами звучащаго камертона, и пр. Подобными пріемами можно удостовѣриться, что когда

звучитъ стаканъ, колоколъ и т. п., стѣнки предмета находятся въ состояніи быстраго колебательнаго движенія. Звуки нашего собственнаго голоса происходятъ вслѣдствіе колебательнаго движенія особаго мышечнаго органа (голосовыхъ связокъ), помѣщающагося въ гортани. Жужжаніе мухи, комара и другихъ насѣкомыхъ во время полета зависитъ отъ быстраго колебанія ихъ крылышекъ.

Издавать звукъ, т. е. быть „источникомъ звука“, могутъ также жидкости и газы. Случается, что вода въ водопроводномъ кранѣ при вытеканіи приходитъ въ состояніе быстрыхъ колебаній и сильно звучитъ. Что касается воздуха, то мы имѣемъ много примѣровъ его звучанія. Если дуть вскользь по отверстію склянки, то происходитъ тонъ (на рис. 150 стрѣлка приблизительно показываетъ направленіе воздушной струи). Очень высокій тонъ слышится при подобномъ же дутьѣ по отверстію въ бородкѣ ключа или по краю наперстка. Тона́, издаваемые органными трубами, также причиняются звучаніемъ въ нихъ воздуха. Завываніе и свистъ вѣтра зависятъ отъ той же причины. И т. п. Во всѣхъ подобныхъ случаяхъ, какъ доказано опытами, газъ находится въ состояніи болѣе или менѣе быстраго дрожанія, о которомъ впрочемъ труднѣе составить себѣ понятіе, чѣмъ въ нѣсколькихъ простѣйшихъ случаяхъ звучанія твердыхъ тѣлъ, разсмотрѣнныхъ нами съ самаго начала.



149.



150

Дрожаніе звучащаго тѣла, когда оно достаточно сильно, можетъ быть замѣчено и осязаніемъ. Напр., если коснуться концомъ звучащаго камертона поверхности нашей кожи (или лучше кончика языка), то чувствуется своеобразное щекотаніе. Положивъ руку на грудь и произведя звукъ голосомъ, можно ясно ощущать дрожаніе

груди. Громкая игра на роялѣ или звуки оркестра заставляютъ дрожать почти всѣ окружающіе предметы (даже полъ и стѣны), что иногда можно замѣтить, прикасаясь къ нимъ концами пальцевъ. (Это особенно ощутительно, если прикасаться къ какой-нибудь тонкостѣнной коробкѣ, большому резиновому мячику и пр. Иногда дрожаніе пола, производимое музыкою, настолько сильно, что прямо ощущается подошвою ногъ).

224. До сихъ поръ мы выбирали лишь такіе примѣры звучанія, когда происходитъ нѣкоторый совершенно опредѣленный тонъ. Но область звуковъ гораздо разнообразнѣе. Мы слышимъ шумъ, стукъ, шорохъ, шелестъ, скрипъ и т. п. Всѣ эти звуки возникаютъ тоже вслѣдствіе болѣе или менѣе быстрыхъ дрожаній различныхъ тѣлъ или ихъ частей. Когда напр. мы ударяемъ по столу, доска въ мѣстѣ удара нѣсколько вдавливается, но вслѣдствіе упругости стремится возстановить свою форму; отсюда возникаютъ быстрыя колебанія, какъ въ разсмотрѣнныхъ нами выше примѣрахъ, но длящіяся очень короткое время. При треніи двухъ предметовъ другъ о друга, неровности одного сталкиваются съ неровностями другого, какъ бы соударяются: происходитъ болѣе или менѣе длящееся сотрясеніе частей, которое мы слышимъ, какъ шорохъ. И т. д. Разница между всѣми подобными звуками и „тонами" зависитъ лишь отъ различія въ колебательныхъ движеніяхъ, порождающихъ звуки.

Звукъ происходитъ при быстромъ **колебательномъ** движеніи тѣла или его частей.

225. Главный признакъ движенія, называемаго „колебательнымъ", состоитъ очевидно въ томъ, что тѣло двигается впередъ и обратно около нѣкотораго средняго положенія, повторяя одинъ взмахъ за другимъ [1]. Мы имѣемъ очень обыкновенный примѣръ такого движенія на качаніяхъ маятника часовъ. Подвѣсивъ грузикъ на ниткѣ (какъ въ отвѣсѣ) и давъ ему толчокъ, мы легко можемъ наблюдать нѣкоторыя очень важныя особенности маятничныхъ колебаній, свойственныя и многимъ другимъ колебательнымъ движеніямъ, между прочимъ тѣмъ, которыя зависятъ отъ упругости тѣлъ и которыя обыкновенно служатъ причиною возникновенія звука. Какъ уже было сказано выше, въ гл. VI, размахомъ колебанія называется разстояніе между двумя крайними положеніями колеблющагося тѣла, а продолжительностью или просто временемъ колебанія—то время, въ теченіе котораго тѣло перемѣщается отъ одного крайняго положенія къ другому.

[1] Пока движеніе тѣла происходитъ безъ возврата къ одному изъ прежнихъ положеній (все впередъ), мы называемъ его поступательнымъ. Таково напр. обычное движеніе экипажей, желѣзно-дорожнаго поѣзда, теченіе воды въ рѣкѣ, движеніе воздуха при вѣтрѣ. (Въ большинствѣ случаевъ поступательное движеніе усложняется впрочемъ колебательными и другими движеніями).

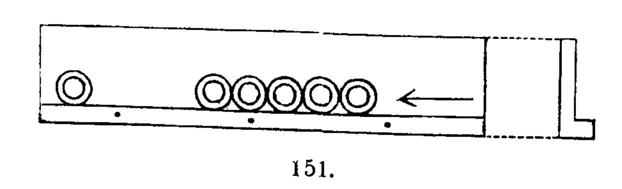
Припомнимъ здѣсь слѣдующія особенности маятничныхъ колебаній. 1) Чѣмъ длиннѣе маятникъ, тѣмъ меньше качаній онъ сдѣлаетъ въ теченіе даннаго времени, т. е. тѣмъ продолжительнѣе каждое его колебаніе,—и наоборотъ. Объ этой зависимости хорошо знаетъ каждый, кому приходилось регулировать ходъ стѣнныхъ часовъ, опуская или приподнимая „чечевицу" маятника. Въ случаѣ колебанія упругаго прутка зависимость времени колебанія отъ его длины прямо бросается въ глаза, и на нее было уже обращено вниманіе выше. 2) При одной и той же длинѣ маятника, число его качаній въ теченіе даннаго времени (а слѣдов. и продолжительность каждаго) почти не зависитъ отъ величины размаха; если размахъ малъ, то мы не замѣтимъ никакой разницы, сосчитывая число качаній напр. въ теченіе одной минуты, потомъ еще одной минуты и т. д.,—хотя размахи маятника становятся все меньше и меньше. Точно также можно считать, что продолжительность каждаго колебанія прутка, струны и пр. не зависитъ отъ величины размаха.

Такъ какъ звуковыя колебанія быстро слѣдуютъ одно за другимъ, то частоту или повторяемость ихъ принято выражать числомъ колебаній въ одну секунду. Самый счетъ колебаній можно при этомъ вести двояко: или считая каждое отдѣльное перемѣщеніе звучащаго тѣла отъ одного крайняго положенія до другого, или же принимая перемѣщеніе его впередъ и обратно за одно колебаніе. Другими словами, можно при этомъ подразумѣвать одиночныя колебанія, или же двойныя, называемыя также полными; число послѣднихъ въ то же самое время конечно вдвое меньше. Ниже вездѣ счетъ ведется двойными или полными колебаніями. Тона́, употребляемые въ музыкѣ, соотвѣтствуютъ десяткамъ, сотнямъ, и даже тысячамъ полныхъ колебаній въ секунду.

Какъ звуковыя колебанія передаются въ окружающей средѣ.

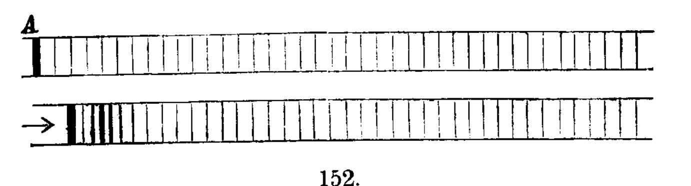
226. Теперь является вопросъ: какимъ образомъ колебательныя движенія струны, камертона и пр. могутъ дѣйствовать на нашъ слуховой органъ чрезъ разъединяющее ихъ пространство? Они очевидно должны какъ либо достигать до нашего уха. Опытъ показываетъ, что передатчикомъ колебаній обыкновенно служитъ воздухъ, а часто и другія тѣла. Если подъ колоколъ воздушнаго насоса поставить звонокъ съ заводнымъ механизмомъ и, пустивъ его въ ходъ, выкачать изъ подъ колокола воздухъ, то звукъ становится едва слышнымъ; онъ не прекращается совершенно, потому что подъ колоколомъ все же остается нѣсколько воздуха, и потому, что звукъ частью передается по тѣмъ твердымъ предметамъ, къ которымъ прикасается звучащій приборъ. (Чтобы ослабить эту передачу, послѣдній ставятъ на кусокъ войлока, чрезъ который звукъ передается хуже, чѣмъ по какой нибудь подставкѣ изъ плотнаго матерьяла). Впуская воздухъ мало по малу подъ колоколъ насоса, снова услышимъ усиленіе звука.— На высокихъ горахъ, гдѣ воздухъ значительно разрѣженнѣе нашего, звукъ пистолетнаго выстрѣла гораздо менѣе громокъ. По свидѣтельству нѣкоторыхъ воздухоплавателей, звукъ ихъ голоса значительно ослабѣвалъ на большихъ высотахъ.

227*. Звучащее тѣло сообщаетъ окружающему его воздуху какъ бы рядъ толчковъ, которые и передаются воздухомъ нашему уху. Разберемъ это подробнѣе.


151.

Положимъ въ рядъ нѣсколько костяныхъ шаровъ или колецъ такъ, чтобы они касались другъ друга (рис. 151). Отодвинувъ одно кольцо въ сторону, ударимъ имъ по сосѣднему—въ направленіи всего ряда. Мы увидимъ, что отскочитъ только послѣднее въ ряду кольцо, а промежуточныя останутся почти на прежнемъ мѣстѣ. Передачу движенія

въ этомъ случаѣ мы должны объяснить себѣ не иначе, какъ сжатіемъ каждаго кольца въ моментъ удара и слѣдующимъ затѣмъ расширеніемъ. Кольцо, по которому ударили, нѣсколько сжимается и, быстро расширяясь вслѣдствіе упругости, передаетъ толчокъ слѣдующему и т. д.; послѣднее кольцо, будучи свободнымъ, отскакиваетъ. Теперь представимъ себѣ (рис. 152), что въ одинъ конецъ длинной трубы



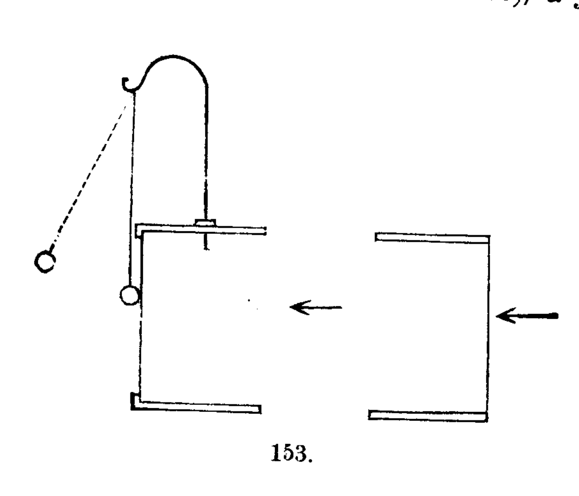
152.

съ воздухомъ плотно вставлена пластинка A, которая можетъ быть передвигаема впередъ и обратно (нѣчто вродѣ поршня). Что произойдетъ, если быстро вдвинуть ее нѣсколько внутрь трубы, сообщивъ тѣмъ толчокъ заключенному въ трубѣ воздуху? Такъ какъ воздухъ легко сжимается, то ближайшій къ пластинкѣ слой сожмется и, стремясь снова расшириться, сожметъ сосѣдній съ нимъ слой; этотъ, въ свою очередь, передастъ сжатіе слѣдующему и т. д. Произойдетъ очевидно нѣчто сходное съ тѣмъ, что мы имѣли въ ряду колецъ или шаровъ: передача толчка воздухомъ вдаль безъ того, чтобы промежуточныя части воздуха перемѣстились сколько нибудь значительнымъ образомъ. Слѣдовательно передача движенія происходитъ здѣсь совсѣмъ иначе, нежели напр. при вѣтрѣ, гдѣ воздухъ движется поступательно. Когда мы дутьемъ сдвигаемъ съ мѣста клочекъ бумаги, воздухъ, вытолкнутый изъ нашего рта, достигаетъ бумаги. Но при передачѣ толчка въ воздухѣ указаннымъ выше образомъ, вслѣдствіе сжимаемости и упругости воздуха, толчокъ можетъ быть сообщенъ далеко отстоящимъ воздушнымъ частичкамъ, между тѣмъ какъ всѣ промежуточныя останутся тамъ же или почти тамъ же, гдѣ были.

228*. Вотъ нѣсколько наблюденій, подтверждающихъ, что движеніе можетъ передаваться воздухомъ путемъ послѣдовательнаго сжатія и расширенія слоевъ, т. е. помимо того, что мы называемъ „вѣтромъ“.

Кому не случалось замѣчать, что притворенная (не запертая) дверь хлопаетъ, при совершенно спокойномъ воздухѣ, если быстро двинуть другой притворенной дверью даже на значительномъ разстояніи? Если бы толчокъ передавался поступательнымъ движеніемъ воздуха, то мы конечно замѣтили бы въ помѣщеніи (напр. въ длинномъ коридорѣ) хотя бы кратковременный сквозной вѣтеръ, чего однако нѣтъ. При выстрѣлѣ изъ пушки оконныя стекла вздрагиваютъ на разстояніи нѣсколькихъ верстъ отъ мѣста выстрѣла. Это явленіе опять нельзя объяснить себѣ поступательнымъ перемѣщеніемъ того воздуха, который былъ приведенъ въ движеніе выброшенными изъ орудія пороховыми газами: совершенно невѣроятно, чтобы этотъ воздухъ могъ быть отброшенъ на столь большое разстояніе и въ такое короткое время. Но передача толчка очень просто объясняется сжатіемъ и послѣдующимъ расширеніемъ воздушныхъ слоевъ, вплоть до того, который соприкасается съ оконнымъ стекломъ. — Вотъ наконецъ опытъ, представляющій въ наглядной формѣ подражаніе только что названнымъ явленіямъ.

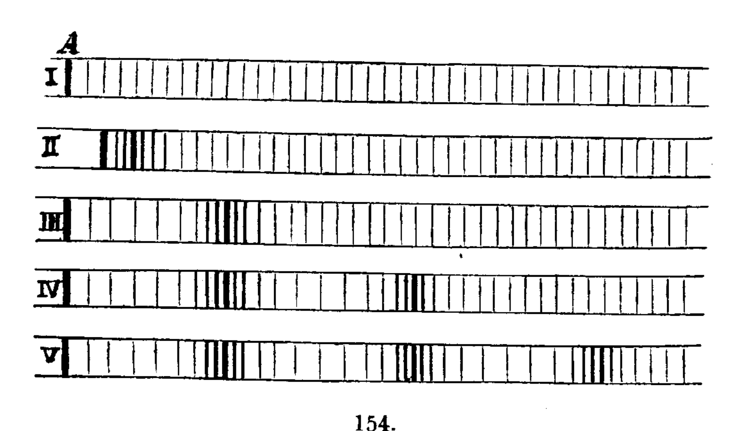
Возьмемъ два деревянныхъ ящика, изъ которыхъ у одного дно картонное (достаточно толстое), а у другого—изъ тонкой туго натянутой перепонки (кишечной или же изъ бумажнаго пергамента или даже просто изъ бумаги); къ послѣдней прикасается легкій подвѣшенный на ниткѣ шарикъ. Поставивъ ящики отверстіями одинъ противъ другого, какъ показано на рис. 153, ударимъ по картонному дну деревяннымъ молоточкомъ или пальцемъ: шарикъ тотчасъ отскочитъ отъ перепонки. Дѣйствіе еще замѣтно, когда ящики находятся одинъ отъ другого на разстояніи аршина и даже двухъ. Если между ящиками поставимъ зажженый огарокъ свѣчи, то замѣтимъ, что въ моментъ удара пламя лишь вздрагиваетъ: совсѣмъ не то произошло бы съ нимъ даже при очень кратковременномъ вѣтрѣ.—Обратимъ вниманіе, что толчекъ по картону передается воздухомъ нетолько въ томъ направленіи, по которому онъ былъ сообщенъ, но и въ стороны. Именно, если, держа ящикъ съ картоннымъ дномъ въ рукѣ и ударяя по картону, будемъ поворачивать отверстіе ящика такъ или иначе, шарикъ все же будетъ отскакивать отъ перепонки.


153.

229. Подобные же толчки сообщаются воздуху звучащимъ тѣломъ. Но для пониманія способа передачи звуковыхъ колебаній сказаннаго еще недостаточно. Движеніе звучащаго тѣла состоитъ изъ быстрыхъ перемѣщеній впередъ и обратно. Что произойдетъ съ воздухомъ въ трубѣ (см. выше рис. 152), если пластинка *A* будетъ быстро двинута въ обратномъ направленіи, т. е. назадъ? (Мы представляемъ себѣ воздухъ заключеннымъ въ трубу только для большей наглядности). Очевидно, близлежащій слой воздуха расширится, разрѣдится; давленіе его на сосѣдній съ нимъ слѣдующій слой станетъ меньше, и этотъ послѣдній тоже разрѣдится; затѣмъ разрѣдится дальнѣйшій слой и т. д. Опять будетъ воздухомъ передано движеніе отъ слоя къ слою—но теперь путемъ послѣдовательнаго разрѣженія сосѣднихъ слоевъ. Можно произвести нѣчто сходное и въ ряду твердыхъ тѣлъ. Положимъ, что размѣщенные въ рядъ шарики соединены между собою податливыми спиральными пружинами. Если толкнемъ крайній шарикъ впередъ, по направленію всего ряда, то толчокъ передается вслѣдствіе послѣдовательнаго сжатія пружинъ. Если же крайнему шарику дадимъ толчокъ въ обратную сторону, то произойдетъ также передача толчка, но уже благодаря послѣдовательному растяженію пружинъ.

230. Теперь положимъ, что пластинка *A* быстро колеблется въ трубѣ впередъ и обратно. Послѣ предыдущаго нетрудно прослѣдить мысленнымъ взоромъ то, что произойдетъ тогда съ заключеннымъ въ трубѣ воздухомъ. Вдоль трубы пойдутъ рядъ послѣдовательныхъ сгущеній и разрѣженій воздуха. Рис. 154 представляетъ попытку изобразить это наглядно. Въ I — слои воздуха повсюду одинаковой плотности; II—пластинка *A* быстро подвинута вправо:

воздухъ около нея уплотнился; III—пластинка возвратилась въ свое первоначальное положеніе: воздухъ около нея разрѣдился, а сгущеніе успѣло распространиться на нѣкоторое разстояніе; IV—пластинка закончила свое второе колебаніе:



154.

въ воздухѣ образовалось два сгущенныхъ и два разрѣженныхъ слоя; V—пластинка закончила свое третье колебаніе: теперь въ трубѣ уже три сгущенія и три разрѣженія. И т. д.

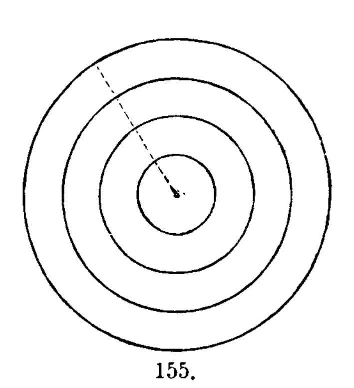
Нѣчто подобное конечно происходитъ—по всѣмъ направленіямъ отъ звучащаго тѣла — и въ открытомъ (не заключенномъ въ трубу) воздухѣ.

Какія движенія совершаетъ при этомъ каждая отдѣльная воздушная частичка? Она конечно движется впередъ и обратно около нѣкотораго средняго своего положенія, т. е. движется колебательно. Такъ стало бы напр. колебаться пламя свѣчи, еслибы по близости отъ него мы начали двигать впередъ и обратно кускомъ картона, держа его плоскостью къ свѣчѣ; пламя повторяло бы колебательныя движенія картона — съ нѣкоторымъ запозданіемъ, зависящимъ отъ бо̀льшаго или меньшаго отдаленія свѣчи.

Въ окончательномъ выводѣ мы можемъ слѣдующимъ образомъ характеризовать то движеніе, которое происходитъ въ воздухѣ вокругъ звучащаго тѣла: каждая воздушная частичка движется колебательно, повторяя, съ нѣкоторымъ запозданіемъ, движеніе предшествующей.

Звуковыя волны.

231*. Обратимъ теперь наше вниманіе на нѣсколько явленій, которыя съ перваго взгляда не имѣютъ ничего общаго съ распространеніемъ звука въ воздухѣ, — именно прежде всего на распространеніе волнъ по спокойной поверхности воды. Отъ камня, брошеннаго въ прудъ или лужу, концентрическими все увеличивающимися кругами „разбѣгаются“ нѣсколько волнъ (рис. 155), и вслѣдъ затѣмъ водяная поверхность снова успокаивается. Какъ движется при этомъ вода? Она конечно не перетекаетъ вмѣстѣ съ волнами, т. е. не имѣетъ поступательнаго движенія. Чтобы видѣть, каково именно движеніе водяныхъ частичекъ, бросимъ пробку или щепку на поверхность воды, по которой пробѣгаютъ волны: пробка сдѣлаетъ нѣсколько качаній вверхъ и внизъ, но окажется на своемъ прежнемъ мѣстѣ, лишь только волны пройдутъ мимо. Точно такъ качается и лодка, подъ которой пробѣгаютъ волны отъ мимо прошедшаго парохода. (Мы беремъ здѣсь такіе случаи, въ которыхъ распространеніе волнъ не усложняется дѣйствіемъ вѣтра). Значитъ самыя частицы воды, не двигаясь поступательно, лишь колеблются около своего средняго положенія; движеніе каждой частицы передается, конечно съ нѣкоторымъ запозданіемъ, слѣдующей, которая его повторяетъ. Какъ видимъ, происходитъ нѣчто очень похожее на то, что̀ совершается и въ воздухѣ при распространеніи звуковыхъ колебаній.



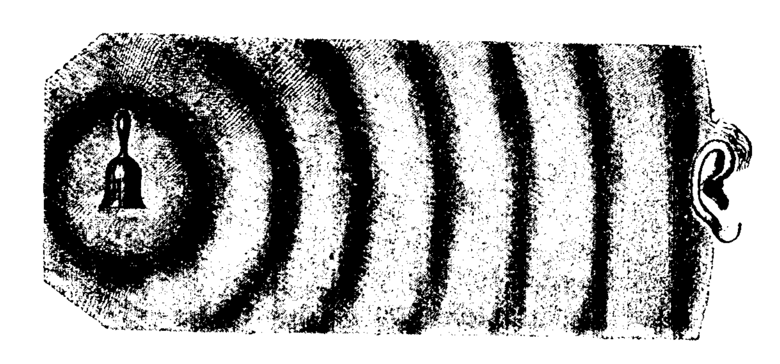
155.

Возьмемъ еще слѣдующее всѣмъ извѣстное явленіе. Если прикрѣпить къ стѣнѣ одинъ конецъ веревки и, удерживая ее на вѣсу, колебать рукою другой ея конецъ, то по веревкѣ побѣжитъ рядъ „волнъ“, очень напоминающихъ водяныя. Ясно, что отдѣльныя части веревки не перемѣщаются поступательно, а совершаютъ колебательныя движенія, передающіяся отъ одной части къ другой. Внѣшнее сходство съ

волненіемъ водяной поверхности зависитъ отъ того, что есть нѣчто сходное въ самыхъ движеніяхъ воды и веревки.

Легко указать еще и другіе примѣры волнообразной передачи движенія. Всякій видѣлъ, какъ „волнуется“ ржаное поле, когда по нему пробѣгаетъ вѣтеръ. Откуда эти волны? Если мы обратимъ вниманіе на каждый отдѣльный колосъ, то поймемъ, что его движеніе отъ толчка должно быть колебательное, такъ какъ онъ поддерживается упругой соломиной. Каждый послѣдующій — по направленію вѣтра—колосъ начинаетъ свое колебаніе конечно нѣсколько позже предыдущаго. Словомъ, и здѣсь происходитъ нѣчто сходное съ распространеніемъ волнового движенія по поверхности воды.

232. Общій признакъ волнообразнаго движенія ряда частицъ, какъ видимъ, тотъ, что каждая частица движется колебательно, повторяя, съ нѣкоторымъ запозданіемъ, движеніе предшествовавшей. Поэтому мы можемъ



156.

коротко сказать, что воздухъ вокругъ звучащаго тѣла совершаетъ волнообразное движеніе,—что по нему распространяются звуковыя волны. Рис. 156 представляетъ наглядное изображеніе звуковыхъ волнъ, распространяющихся отъ звенящаго колокольчика; сгущенныя части воздушныхъ волнъ на рисункѣ изображены болѣе темною тушевкою.

По водѣ волны расходятся кругами отъ той точки, гдѣ онѣ возникли; въ воздухѣ волны конечно должны быть въ подобномъ случаѣ шаровидными.

Если бы мы могли видѣть движенія воздуха въ комнатѣ,

въ которой одновременно издается много различныхъ звуковъ, напр. говорятъ нѣсколько человѣкъ, то намъ представилась бы весьма пестрая картина. Нѣчто подобное мы видимъ на поверхности водяного бассейна, въ который высыпаютъ кучу щебня.

Скорость распространенія звуковыхъ колебаній въ воздухѣ.

233*. При распространеніи водяныхъ волнъ каждая водяная частица повторяетъ движеніе предыдущей съ нѣкоторымъ запозданіемъ; поэтому распространеніе волны требуетъ времени. Но то же можно сказать о всякомъ волнообразномъ движеніи, между прочимъ и о томъ, при посредствѣ котораго колебанія звучащаго тѣла передаются нашему уху. И въ самомъ дѣлѣ, звуковыя колебанія распространяются въ воздухѣ не мгновенно; мы слышимъ звукъ нѣсколько позже дѣйствительнаго момента возникновенія звуковыхъ колебаній. Это легко замѣтить, когда источникъ звука достаточно удаленъ отъ насъ и когда мы можемъ зрѣніемъ точно опредѣлить моментъ, въ который звукъ начался или окончился. (Запаздываніе звука отъ удара топоромъ или молоткомъ по твердому предмету, отъ удара по колоколу, отъ свистка паровоза, отъ ружейнаго или пушечнаго выстрѣла и т. п.). Понятно, какъ можно найти и скорость распространенія звуковыхъ колебаній въ воздухѣ: стоитъ лишь точно опредѣлить, насколько именно запаздываетъ звукъ выстрѣла, произведеннаго на опредѣленномъ отъ насъ разстояніи, противъ момента появленія дыма или свѣта. Подобными опытами найдено, что звуковыя волны пробѣгаютъ въ воздухѣ около 1100 футовъ въ секунду. Это составляетъ круглымъ счетомъ версту въ три секунды. Если тотчасъ послѣ молніи будемъ считать время по секундной стрѣлкѣ часовъ до появленія грома (начало котораго въ дѣйствительности одновременно съ молніей) и раздѣлимъ число секундъ на три, то узнаемъ приблизительно разстояніе отъ насъ грозового облака въ верстахъ.

Распространеніе звуковыхъ волнъ въ твердыхъ и жидкихъ тѣлахъ.

234. Мимоходомъ мы уже упоминали выше, что звукъ передается и твердыми тѣлами. Жидкости тоже передаютъ

звукъ. Въ тѣхъ и другихъ частицы совершаютъ при этомъ колебательныя движенія, передающіяся послѣдовательно во всѣ стороны.

Рядомъ простыхъ наблюденій можно обнаружить, что звукъ распространяется въ твердыхъ тѣлахъ вообще гораздо лучше, чѣмъ въ воздухѣ. На одномъ и томъ же разстояніи мы отчетливѣе услышимъ звукъ, когда онъ достигаетъ до насъ чрезъ посредство твердаго тѣла вмѣсто воздуха. Помѣстивъ карманные часы на одинъ конецъ стола и приложивъ ухо къ другому концу, мы гораздо яснѣе услышимъ тиканье часовъ, чѣмъ прямо чрезъ воздухъ. Легкое царапанье ногтемъ по краю стола производитъ тогда на другомъ концѣ впечатлѣніе довольно сильнаго шума. (Очень хорошо сдѣлать подобныя наблюденія надъ длиннымъ бревномъ). Если приложить ухо къ стѣнѣ, то становятся гораздо слышнѣе многіе звуки, производимые въ сосѣдней комнатѣ или сосѣднемъ этажѣ дома (напр. игра на роялѣ, въ особенности если инструментъ стоитъ около той же стѣны). Конскій топотъ можно слышать на большомъ разстояніи чрезъ (плотную) почву, если приложить ухо къ землѣ. Довольно извѣстная игрушка, называемая „дѣтскимъ телефономъ",—кстати сказать, имѣющая очень мало общаго съ настоящимъ телефономъ, — показываетъ намъ, что звуковыя колебанія хорошо передаются по натянутому шнуру. Вотъ еще любопытный опытъ въ этомъ же родѣ. Привязываютъ серебряную столовую ложку (или желѣзные кухонные щипцы) къ сложенной вдвое нити и берутъ концы послѣдней въ зубы; заткнувъ уши пальцами, раскачиваютъ ложку такъ, чтобы она ударялась напр. о ножку стола и звучала. Звукъ, который тогда слышится, — благодаря передачѣ колебаній чрезъ нить, зубы и другія костныя части черепа внутреннему уху,—очень громокъ и напоминаетъ собою звонъ большого колокола.

Что звуковыя колебанія твердыхъ предметовъ иногда прямо могутъ быть ощущаемы осязаніемъ—уже упоминалось выше (§ 223).

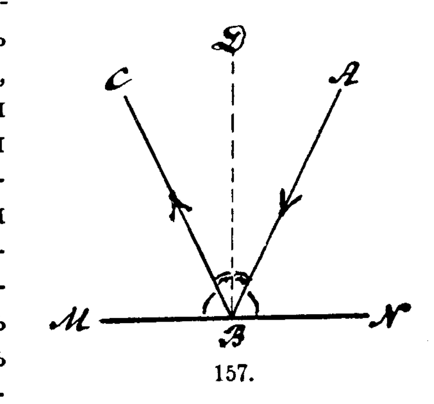
Жидкости также передаютъ звукъ лучше, чѣмъ воздухъ. Если напр. погрузиться съ головою въ воду, то стукъ двухъ камешковъ другъ о друга подъ водою, производимый на большомъ разстояніи, слышится очень отчетливо.

235. Что касается скорости распространенія звуковыхъ колебаній, то она въ разныхъ тѣлахъ весьма неодинакова. Вообще говоря, въ твердыхъ и жидкихъ тѣлахъ скорость звука больше, чѣмъ въ воздухѣ. Напр. вода распространяетъ звуковыя колебанія въ 4 слишкомъ раза быстрѣе, желѣзо почти въ 15, а стекло въ 17 разъ. (Разные газы тоже отличаются между собою въ этомъ отношеніи). Если ударить молоткомъ по одному концу достаточно длинной чугунной трубы, то у другого конца ея можно слышать два звука: первый—вслѣдствіе распространенія звуковыхъ колебаній чрезъ стѣны трубы, второй—замѣтно запаздывающій—чрезъ воздухъ.

Скорость звука нѣсколько зависитъ отъ температуры той „среды", въ которой распространяются звуковыя волны, а также отъ другихъ обстоятельствъ, измѣняющихъ свойства этой среды.

Отраженіе звуковыхъ волнъ.

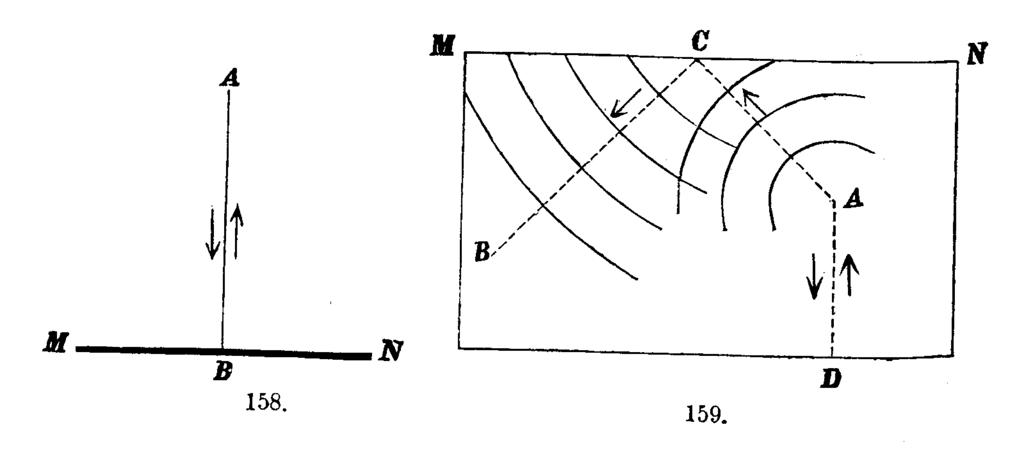
236. Мячикъ, ударившійся объ стѣну, отскакиваетъ отъ нея. Есть цѣлый рядъ явленій, которыя въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ сходны съ этимъ. Напр. солнечный лучъ, упавъ на плоское зеркало по направленію AB (рис. 157), измѣняетъ свое направленіе въ другое, BC, т. е. какъ бы отбрасывается зеркаломъ. Въ физикѣ такія явленія отбрасыванія называютъ отраженіемъ. Мы скажемъ, что мячикъ „отражается" отъ стѣны, что свѣтовой лучъ „отражается" отъ зеркала. Въ томъ и другомъ случаѣ наблюдается слѣдующая правильность. Перпендикуляръ BD, возстановленный къ отражающей плоскости въ точкѣ B, дѣлитъ пополамъ уголъ между первоначальнымъ направленіемъ (ударившагося мячика или упавшаго луча) и новымъ (отраженнымъ); другими словами, равны также углы ABN и CBM. Если мячикъ ударится объ стѣну (или



157.

лучъ упадетъ на зеркало) перпендикулярно, то отраженіе произойдетъ по направленію также перпендикулярному къ отражающей плоскости (рис. 158) [1].

Подобное этому *отраженіе водяныхъ волнъ* удается иногда хорошо наблюдать у берега—когда именно бѣгущія по тихой водѣ волны ударяются о плоское отвѣсное мѣсто. Представимъ себѣ достаточно большой прямоугольный бассейнъ съ водою, по поверхности которой, изъ точки *A*, расходятся круговыя волны (рис. 159). Прослѣживая ходъ волнъ до стѣнки *MN* бассейна, мы увидимъ, что онѣ послѣ встрѣчи со стѣнкою будутъ отброшены обратно. „Направленіе“, по которому распространяется нѣкоторая намѣченная нами малая часть волны, очевидно опредѣляется направленіемъ со-



158.

159.

отвѣтствующаго ей *радіуса* (см. выше рис. 155). Если вообразимъ себѣ радіусъ *AC* и замѣтимъ направленіе соотвѣтственнаго радіуса *CB* отраженныхъ волнъ, то увидимъ, что уголъ *MCB* равенъ углу *NCA*. Часть волны, достигшая стѣнки въ точкѣ *D*, т. е. упавшая на стѣнку по перпендикулярному къ ней направленію, отразится обратно по тому же направленію.

Весьма наглядно бываетъ явленіе въ случаѣ волнъ, бѣгущихъ по длинной слабо натянутой веревкѣ (или резиновой трубкѣ). Отразившись въ мѣстѣ прикрѣпленія веревки, волны бѣгутъ обратно, отражаются отъ другого

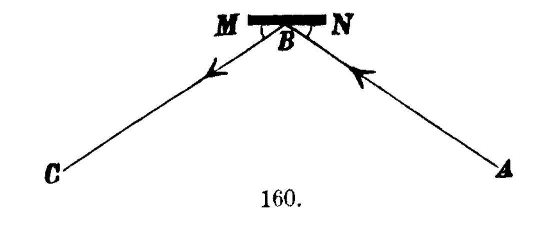
[1] „Законы отраженія“ будутъ дальше, при свѣтовыхъ лучахъ, разсмотрѣны подробнѣе.

конца и т. д., пробѣгая такимъ образомъ все протяженіе нѣсколько разъ.

237*. Не отражаются ли и *звуковыя волны*? Безъ всякаго сомнѣнія: лучшее доказательство тому мы имѣемъ въ явленіи извѣстномъ всѣмъ подъ именемъ *эхо*. Звуковыя волны, произведенныя какъ-либо передъ отвѣсною стѣною дома или опушкою лѣса, отразившись, возвращаются къ намъ. *Но отраженныя звуковыя волны воспринимаются нашимъ ухомъ ничуть не иначе, чѣмъ такія, которыя прямо идутъ отъ звучащаго предмета*. Вотъ почему намъ кажется, что источникъ звука находится какъ разъ въ томъ направленіи, по которому отраженныя звуковыя волны достигаютъ нашего уха. Мы имѣемъ здѣсь одинъ изъ многочисленнѣйшихъ примѣровъ ошибочнаго сужденія, основаннаго на прямомъ свидѣтельствѣ нашихъ чувствъ.

Весьма сходный съ этимъ „слуховымъ“ обманомъ зрительный или „оптическій“ обманъ производится обыкновеннымъ зеркаломъ. Изображенія предметовъ, которыя мы въ немъ видимъ, происходятъ вслѣдствіе того, что глазъ нашъ воспринимаетъ лучи, отраженные отъ зеркала, такъ, какъ если бы они исходили отъ дѣйствительно находящагося за зеркаломъ предмета. Изображенія эти настолько сходны съ самими предметами, что могутъ быть нами въ нѣкоторыхъ исключительныхъ случаяхъ — а маленькими дѣтьми очень часто — сочтены за настоящіе тѣлесные предметы. Но когда ребенокъ, впервые слыша эхо, думаетъ, что кто-то откликается въ лѣсу, онъ обманывается въ своемъ сужденіи по совершенно сходной причинѣ.

Мы слышимъ эхо собственнаго голоса прямо „противъ“ себя, подобно тому, какъ въ зеркалѣ видимъ свое изображеніе прямо передъ собою. Но положимъ, что въ открытомъ мѣстѣ (на лугу) стоитъ небольшое строеніе, одна изъ стѣнокъ котораго *MN* (рис. 160), и что гдѣ либо въ сторонѣ отъ нея, въ точкѣ *A*, производится выстрѣлъ. Находясь около мѣста *A*, мы конечно не услышимъ эхо. Чтобы его слышать, мы должны помѣститься такъ, чтобы отраженныя отъ стѣнки звуковыя волны могли попасть въ наше ухо, именно стать гдѣ либо по направленію *BC*. Замѣтивъ направленіе



160.

AB, по которому звуковыя волны падаютъ на стѣнку *MN*, и то (*BC*), по которому онѣ отражаются отъ нея,—по которому именно отраженный звукъ лучше всего слышенъ,—находятъ, что уголъ *ABN* равенъ углу *CBM*. (Отъ каждаго отдѣльнаго результата нельзя впрочемъ ожидать большой опредѣленности).

238*. Звуковыя волны, посылаемыя источникомъ звука, могутъ конечно отразиться отъ нѣсколькихъ стѣнъ, находящихся отъ насъ въ разныхъ разстояніяхъ, и дойти до нашего уха. Мы услышимъ тогда многократное эхо, часто наблюдаемое среди построекъ или лѣсныхъ участковъ, но особенно эффектное въ горахъ.

Явленіе можетъ еще усложниться тѣмъ, что отраженныя какою-либо стѣною волны, упавъ на другую стѣну, снова отразятся, а отраженныя отъ этой послѣдней — отразятся отъ третьей стѣны и т. д. Такъ происходитъ многократное эхо между двумя параллельными стѣнами, если мы находимся между ними въ достаточномъ удаленіи отъ обѣихъ. Если стѣны близки другъ къ другу, то послѣдовательныя эхо сливаются въ одинъ протяжный звукъ съ первоначальнымъ. Это то самое явленіе, которое мы замѣчаемъ въ большихъ почти пустыхъ комнатахъ (залахъ) и которое обыкновенно называемъ „резонансомъ". Отраженіе звуковыхъ волнъ при этомъ очень напоминаетъ повторное отраженіе волнъ, пробѣгающихъ изъ конца въ конецъ по веревкѣ (см. выше, § 236); но въ разсматриваемомъ нами случаѣ одно отраженіе слѣдуетъ за другимъ конечно чрезъ гораздо меньшіе промежутки времени. Нѣчто сходное произойдетъ и съ резиновымъ мячикомъ между двумя близкими параллельными стѣнками, если онъ сильно ударится приблизительно перпендикулярно одной изъ нихъ.

239. Отраженіе звука гораздо обыкновеннѣе, чѣмъ можно думать, если судить только по явленію эхо. Звуковыя волны всегда отражаются въ большей или меньшей степени на границѣ, отдѣляющей одну среду отъ другой. „Средою" (срединою) по отношенію къ звуковымъ волнамъ называютъ вообще то вещество, въ которомъ они распространяются. Среда, повсюду одинаковая (т. е. имѣющая во всѣхъ своихъ точкахъ одинаковыя физическія свойства), называется однородною. Напр. однородной средою будетъ

воздухъ, имѣющій всюду одинаковую температуру, одинаковую плотность, одинаковое содержаніе водяныхъ паровъ и т. д. Можно представить себѣ также однородную жидкую или твердую среду. Но холодный воздухъ и тотъ же воздухъ въ нагрѣтомъ состояніи будутъ представлять для звуковыхъ волнъ уже двѣ нѣсколько различныхъ среды. То же слѣдуетъ сказать о двухъ массахъ воздуха, отличающихся между собою напр. содержаніемъ водяныхъ паровъ [1], и т. п. Установивъ это различіе, можно сказать вообще, что звуковыя волны, встрѣчая на своемъ пути другую среду, не проникаютъ въ нее сполна, а частью отражаются отъ границы, раздѣляющей обѣ среды. Напр. звуковыя волны хорошо отражаются отъ поверхности воды. Отраженіе звука можетъ происходить также при переходѣ звуковыхъ волнъ изъ болѣе холоднаго воздуха въ болѣе теплый (или наоборотъ), изъ слоя воздуха съ однимъ содержаніемъ водяныхъ паровъ—въ слой воздуха съ другимъ содержаніемъ паровъ и т. п. Конечно послѣднія явленія вообще гораздо менѣе замѣтны, чѣмъ отраженіе звука въ случаѣ двухъ столь различныхъ срединъ, каковы напр. воздухъ и каменная стѣна или вода. Но ими между прочимъ объясняются всѣмъ извѣстныя поразительныя различія въ способности атмосфернаго воздуха передавать звуки вдаль, даже въ совершенно безвѣтренную погоду. Иногда сравнительно слабый звукъ явственно слышится на большомъ разстояніи; въ другое время звукъ болѣе сильный едва слышенъ на разстояніи гораздо меньшемъ. Это именно зависитъ главнымъ образомъ отъ того, въ какой мѣрѣ однороденъ воздухъ, по которому звукъ до насъ доходитъ. Если звуковымъ волнамъ приходится на пути много разъ проходить чрезъ слои различнаго—въ указанномъ выше смыслѣ—воздуха, то вслѣдствіе повторяющихся отраженій при переходѣ изъ одного слоя въ другой значительная часть волнъ можетъ вовсе не достичь нашего слуха.

Многократное отраженіе звука отъ облаковъ (родъ

[1] Разнородность данныхъ срединъ по отношенію къ звуковымъ волнамъ характеризуется лучше всего тѣмъ, что скорость распространенія въ нихъ звука неодинакова. Такъ въ тепломъ воздухѣ звукъ распространяется при прочихъ равныхъ условіяхъ нѣсколько скорѣе, чѣмъ въ холодномъ.

многократнаго эхо) — одна изъ причинъ длительности грома и тѣхъ громовыхъ раскатовъ, которые часто повторяются еще долго послѣ того, какъ блеснула молнія.

---

223. По какимъ именно причинамъ прутокъ или струна, выведенные изъ положенія покоя и отпущенные, приходятъ въ состояніе колебательнаго движенія? (Роль упругости и инерціи). Какими причинами поддерживаются колебанія грузика, подвѣшеннаго на нити (маятника)? Почему во всѣхъ подобныхъ случаяхъ колебательное движеніе по истеченіи нѣкотораго времени прекращается?—**227**. Передача толчка какъ въ ряду колецъ, такъ и въ воздухѣ, обусловливается *упругостью*. Принявъ однако во вниманіе различіе между твердыми тѣлами и воздухомъ (какъ газомъ), можно указать и на нѣкоторую разницу въ томъ и другомъ случаѣ. Въ чемъ именно? („Упругость формы“ и „объемная упругость“, см. § 127).—**228**. Пусть двѣ притворенныя двери находятся въ противоположныхъ стѣнахъ комнаты. Если одну изъ дверей толкнуть не въ сторону второй, а въ обратномъ направленіи, то вторая дверь тоже подастся обратно. Объяснить это. — Какъ воспроизвести подобное явленіе въ опытѣ съ двумя ящиками?—**231**. Какіе *главные признаки* движенія, называемаго волнообразнымъ? При сходствѣ въ главныхъ чертахъ, между волнообразнымъ движеніемъ водяной поверхности и хлѣбнаго поля есть и разница: какъ именно колеблются водяныя частицы и колосья по отношенію *къ направленію, по которому бѣгутъ волны?* („Поперечныя“ и „продольныя“ колебанія). Къ которому изъ двухъ примѣровъ—волненію воды или поля — въ этомъ отношеніи ближе подходитъ распространеніе звуковыхъ волнъ?—Положимъ, что паровозомъ длиннаго поѣзда данъ толчекъ впередъ или назадъ: одновременно ли двинутся за нимъ вагоны? Какой характеръ приняло бы распространеніе движенія вдоль поѣзда, если бы паровозомъ сообщались одинъ за другимъ толчки впередъ и назадъ?—Представимъ себѣ длинную шеренгу людей, стоящихъ съ вытянутой впередъ рукою, и положимъ, что каждый сталъ бы махать рукою вверхъ и внизъ, стараясь дѣлать взмахъ *тотчасъ вслѣдъ за предыдущимъ* (въ дѣйствительности слѣдов. нѣсколько запаздывая); какимъ представится распространеніе движенія вдоль всего ряда для смотрящаго со стороны?—**233**. **1)** Свистъ отдаленнаго паровоза слышится еще нѣкоторое время послѣ того, какъ свистокъ закрытъ,— когда послѣдніе выброшенные клубы пара уже успѣли подняться на порядочную высоту. Объяснить это.—**2)** Выстрѣлъ петербургской полуденной пушки при благопріятныхъ условіяхъ слышенъ на петергофскомъ берегу. Въ моментъ, когда здѣсь слышенъ звукъ выстрѣла, хорошіе часы, поставленные наканунѣ по пушкѣ въ Петербургѣ, показываютъ одну минуту перваго. Какому приблизительно разстоянію это отвѣчаетъ?—**3)** Скорость звука въ воздухѣ (при 0°) близка къ 1100 фут. въ секунду. Выразить ее въ метрахъ въ сек., считая 1 м. = $3^1/_3$ ф.—**4)** Положимъ, что мы находимся въ виду колокольни, на которой производятся мѣрные удары колокола. Отойдемъ отъ нея настолько, чтобы звукъ, дошедшій до насъ отъ какого нибудь удара, совпадалъ съ моментомъ, когда мы уже *видимъ слѣдующій ударъ*. Имѣя съ собою часы съ секундной стрѣлкой, какъ мы опредѣлимъ тогда скорость звука? — **5)** Какъ долженъ сказаться на скорости звука въ воздухѣ попутный или противный вѣтеръ? (Какова будетъ скорость водяныхъ волнъ относительно суши, если онѣ распространяются не по стоячей, а по текущей водѣ,—по теченію или противъ него?) Какимъ усложненнымъ пріемомъ наблюденій можно было бы—хотя частью—исключить вліяніе вѣтра на результатъ? *Отв.* Взявъ среднее изъ результатовъ, найденныхъ по направленію вѣтра и противъ него.—**6)** Слушая исполняемую оркестромъ музыкальную піесу *вблизи и издалека*, мы не замѣчаемъ какой либо иной разницы, кромѣ бо́льшаго или меньшаго ослабленія звуковъ. Что можно заключить отсюда о скорости распространенія звуковъ разной высоты и разной громкости?—**7)** Скорость звука въ воздухѣ при 0° равна 330 метр. въ секунду и съ повышеніемъ или пониженіемъ температуры на 1° Ц. соотвѣтственно увеличивается или уменьшается на $^3/_5$ метра въ сек. Какова разница въ скорости звука въ теплый лѣтній день и морозный зимній, напр. при температурахъ + 20° и—20° по Реомюру? *Отв.* 345 и 315 м./сек.—**237**. Что сходнаго въ происхожденіи *луннаго свѣта и дляшагося эхо*, напр. эхо отъ паровознаго свистка?—Почему можно думать, что и животныя, подобно намъ, воспринимаютъ отраженныя звуковыя волны точно такъ, какъ непосредственно идущія отъ источника? (Собака, лающая на эхо собственнаго голоса).—Чрезъ сколько секундъ мы услышимъ эхо собственнаго голоса, стоя въ полуверстѣ отъ опушки лѣса или стѣны зданія? Стоя на разстояніи въ 6 разъ меньшемъ? (Скорость звука считать = $^1/_3$ версты въ сек.). На разстояніи 33 метровъ (при скорости 330 м./сек.)? Не скажется ли то или иное разстояніе до отражающей поверхности на числѣ слоговъ, которое эхо успѣетъ повторить?—**238**. Если, стоя по срединѣ зала шириною въ 10 м., мы издадимъ (короткій) звукъ, то чрезъ какіе промежутки времени будутъ для насъ повторяться звуки, отраженные стѣнами по ширинѣ залы?

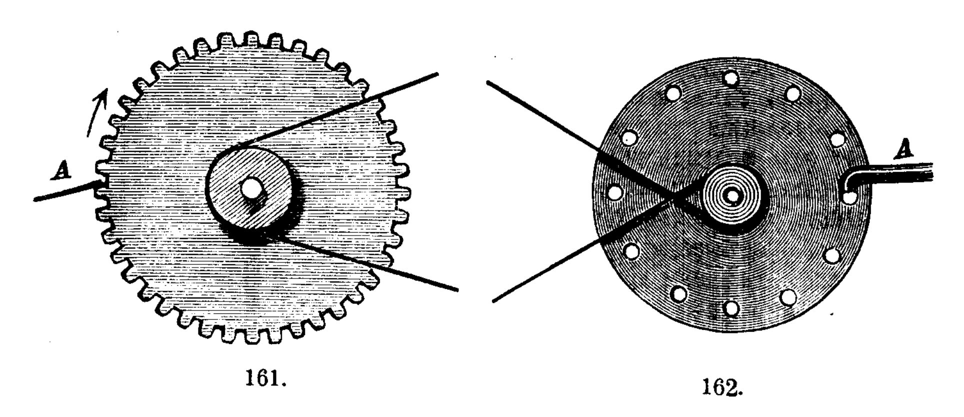
XV.

О тонахъ, ихъ высотѣ и тембрѣ и объ анализѣ тоновъ.

О тонахъ.

240*. Вернемся теперь еще разъ къ тѣмъ звукамъ, которые называются тонами и къ которымъ относятся всѣ музыкальные звуки. Въ отличіе отъ шума, стука и пр. можно сказать, что тонъ есть длящійся звукъ опредѣленной высоты. (Каждый—за исключеніемъ развѣ людей съ очень разстроеннымъ слухомъ—понимаетъ, когда говорится о тонахъ разной высоты, хотя конечно и затруднился бы объяснить, что́ это значитъ). Мы уже упоминали мимоходомъ, что тонъ тѣмъ выше, чѣмъ чаще колебанія звучащаго тѣла слѣдуютъ одно за другимъ. Вотъ еще нѣсколько доказательствъ.

Если къ зубцамъ вращающагося зубчатаго колеса приставить кусокъ папки *A* (рис. 161), держа его напр. въ рукѣ,



161. 162.

то вслѣдствіе ударовъ, производимыхъ зубцами, и упругости папки, она будетъ дѣлать колебательныя движенія; отъ каждаго удара папка сдѣлаетъ движеніе впередъ и обратно (почему?) Если толчки достаточно часто слѣдуютъ одинъ за другимъ, то послышится тонъ, который будетъ повышаться съ увеличеніемъ быстроты вращенія колеса.

Возьмемъ картонный или металлическій кружокъ съ круговымъ рядомъ отверстій и, вращая его достаточно быстро, направимъ на отверстія изъ трубки *A* струю воздуха (рис. 162). Воздухъ, ударяясь о промежутокъ между отверстіями, уплотняется, но вслѣдъ за тѣмъ, встрѣчая чрезъ отверстіе свободный выходъ, расширяется. Рядъ послѣдовательныхъ уплотненій и разрѣженій воздуха образуютъ, какъ мы знаемъ, звуковыя волны. Произойдетъ тонъ, высота котораго опять будетъ измѣняться въ зависимости отъ быстроты вращенія.

Можно сдѣлать еще слѣдующій гораздо болѣе простой опытъ. Возьмемъ одинъ изъ тѣхъ книжныхъ переплетовъ, которые оклеены мелко-бороздчатымъ коленкоромъ. Проводя ногтемъ поперекъ параллельныхъ бороздокъ, услышимъ—по весьма понятной причинѣ — довольно явственный тонъ. Проведемъ ногтемъ быстрѣе, и тонъ повысится. При очень быстромъ движеніи ногтя тонъ переходитъ въ подобіе свиста.—Опытъ этого рода можно произвести также съ напилкомъ или пилою. — Тонъ, издаваемый пилою при распиливаніи дерева, тѣмъ выше, чѣмъ быстрѣе движется пила. (Это особенно явственно въ случаѣ круглой заводской пилы; по издаваемому ею тону можно издалека слѣдить за измѣненіями быстроты ея хода).

241*. Звучащее тѣло обыкновенно дѣлаетъ десятки, сотни и даже тысячи колебаній въ секунду. Однако не представляется особой трудности сосчитать, сколько именно колебаній въ секунду производитъ тѣло, дающее тонъ опредѣленной высоты. Вернемся напр. къ нашему зубчатому колесу. Положимъ, что колесо можно вращать помощью привода достаточно равномѣрно: тогда, достигнувъ тона требуемой высоты, можно будетъ поддерживать его въ теченіе нѣкотораго времени. Если мы сосчитаемъ, сколько оборотовъ сдѣлало зубчатое колесо въ это время, и если знаемъ число его зубцовъ, то легко найдемъ повторяемость колебаній, соотвѣтствующую данному тону. Пусть напр. колесо съ 80-ю зубцами, по достиженіи требуемаго тона, сдѣлало въ теченіе 10 секундъ 50 оборотовъ. Общее число толчковъ, полученныхъ папковой пластинкою за это время, $= 80.50 = 4000$; слѣдовательно на каждую секунду приходится 400 колебаній.—Для опредѣленія числа

оборотовъ зубчатаго колеса, къ его оси присоединяется особый механическій „счетчикъ“ со стрѣлкою; устройство его таково, что напр. при каждой сотнѣ оборотовъ зубчатаго колеса стрѣлка одинъ разъ обходитъ по циферблату съ дѣленіями.

Подобными изслѣдованіями (впрочемъ далеко не всегда столь простыми) найдено, что самый низкій тонъ изъ употребляемыхъ въ музыкѣ соотвѣтствуетъ 30 колебаніямъ въ секунду, а самый высокій 4000 (числа взяты округленныя). Колебанія подразумѣваются полныя, или двойныя (см. § 225).

Судя по тонамъ, издаваемымъ насѣкомыми во время полета, можно заключить, что они дѣлаютъ крылышками нерѣдко сотни взмаховъ въ секунду.

242*. Какъ извѣстно, тона, производимые музыкальными инструментами, располагаются въ нѣкоторой послѣдовательности, въ рядъ, называемый музыкальной гаммою. „Промежутокъ“ между двумя тонами, обыкновенно оцѣниваемый на слухъ, называется интерваломъ. Въ физикѣ интервалы выражаютъ опредѣленнѣе, беря отношеніе между повторяемостью колебаній [1] тоновъ, причемъ всегда считаютъ отъ высшаго тона къ низшему. Если напр. одному тону соотвѣтствуетъ 200 колебаній въ секунду, а другому 300, то интервалъ тоновъ представится отношеніемъ $\frac{300}{200}$ или $\frac{3}{2}$. Такимъ образомъ соотвѣтствующія интерваламъ числовыя отношенія всегда больше 1-цы.

Оказывается, что число колебаній въ секунду, отвѣчающее октавѣ даннаго тона, вдвое больше, квинтѣ въ $1^1/_2$, а терціи (большой) въ $1^1/_4$ раза больше по сравненію съ исходнымъ тономъ [2]. Такимъ образомъ интервалы между каждымъ изъ названныхъ тоновъ и тѣмъ, съ которымъ мы ихъ сравниваемъ, выражаются слѣдующими отношеніями— въ порядкѣ возрастающей сложности:

[1] Подъ повторяемостью (или частотой) подразумѣвается число колебаній въ 1 секунду (§ 225).

[2] Если исходный тонъ *do*, то его большая терція будетъ ***mi***, квинта *sol*, а октава—слѣдующее высшее do_1 (малая цифра 1 прибавлена для отличенія отъ болѣе низкаго *do*).—По переводѣ съ латинскаго, терція (tertia) просто означаетъ третью ноту, квинта (quinta)—пятую, а октава (octava)—восьмую.

Интервалъ, соотв. октавѣ, отношеніемъ $^2/_1$
„ „ квинтѣ, „ $^3/_2$
„ „ б. терціи, „ $^5/_4$.

Малѣйшее отклоненіе отъ этихъ отношеній уже замѣчается хорошимъ слухомъ. Приведя ихъ къ общему знаменателю и отбросивъ послѣдній, получимъ слѣдующій рядъ чиселъ

4, 5, 6, 8.

Значитъ въ то время, какъ нѣкоторый данный тонъ производитъ 4 колебанія, его б. терція сдѣлаетъ 5, квинта 6, а октава 8 колебаній. Взятый на музыкальномъ инструментѣ одновременно, этотъ рядъ тоновъ (т. е. напр. *do, mi, sol*, do_1) образуетъ мажорный аккордъ—самый совершенный аккордъ въ музыкѣ.

Другіе интервалы выражаются не столь простыми числовыми отношеніями; по мѣрѣ того, какъ отношеніе усложняется, созвучіе становится менѣе полнымъ и мало-помалу переходитъ въ явный диссонансъ. Примѣрами могутъ служить интервалъ re/do, соотвѣтствующій $^9/_8$, и въ особенности интервалъ $^{25}/_{24}$, называемый діэзомъ даннаго тона.

Замѣтимъ себѣ еще, что нормальный (образцовый) камертонъ, по которому настраиваются музыкальные инструменты, производитъ 435 полныхъ колебаній въ секунду. Тонъ этотъ соотвѣтствуетъ первому дискантовому *la* клавіатуры рояля.

243. Выше было уже упомянуто, что наше ухо не получаетъ впечатлѣнія „тона“ отъ колеблющагося тѣла, если колебанія его не достаточно часты. Найдено, что тонъ получается лишь тогда, когда число колебаній въ секунду является около 20 [1]. Съ другой стороны, мы перестаемъ слышать тона и въ томъ случаѣ, когда повторяемость колебаній превышаетъ извѣстную границу: ее можно считать около 40000 въ секунду. Надо впрочемъ замѣтить, что повторяемость колебаній, соотвѣтствующая этимъ крайнимъ границамъ, опредѣляется лишь грубо приблизительно, и

[1] Если бы кто нибудь, путемъ упражненія, могъ достичь того, чтобы сдѣлать ладонью 20 или нѣсколько болѣе полныхъ взмаховъ въ секунду, то безъ сомнѣнія мы услышали очень низкій басовой тонъ.

что слуховые о́рганы разныхъ людей замѣтно различаются по способности слышать самые низкіе и самые высокіе тона. Напр. нѣкоторые не слышатъ мышинаго писка или звука, производимаго сверчкомъ. Слѣдовательно здѣсь то, что для одного является „звукомъ“, было бы для другого лишь „колебательнымъ движеніемъ“, не болѣе.

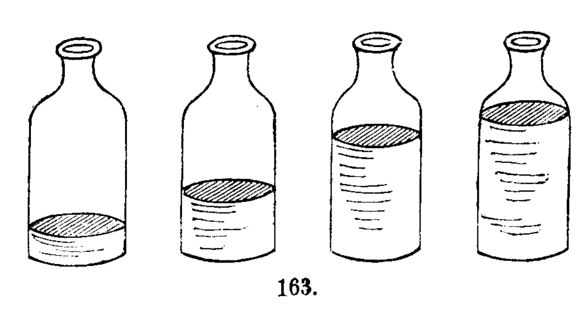
244. Зависитъ ли высота тона отъ величины размаха колеблющагося тѣла? Припомнимъ (см. § 225), что продолжительность каждаго колебанія въ случаѣ прутка, струны и пр. не зависитъ отъ величины размаха. Слѣдовательно и число колебаній въ секунду будетъ одинаково при размахахъ разной величины. И въ самомъ дѣлѣ высота тона струны или камертона не измѣняется вплоть до самой остановки звучащаго тѣла. Тона̀, издаваемые струнами рояля, не мѣняютъ своей высоты при сильномъ и слабомъ ударѣ по клавишамъ; можно себѣ представить, насколько была бы затруднена въ противномъ случаѣ игра на струнномъ инструментѣ.—Отъ величины размаха зависитъ только сила или громкость звука.

Различіе въ собственныхъ тонахъ тѣлъ.

245. Ударяя по стаканамъ разной величины, формы или изъ различнаго матерьяла, заставляя звучать разныя струны, воздухъ въ трубахъ и т. п., мы замѣчаемъ, что каждое тѣло звучитъ по-своему. Звучащее тѣло издаетъ, вообще говоря, свой собственный тонъ, отличающійся отъ тона другого тѣла не только высотою, но часто еще и нѣкоторымъ особымъ „отпечаткомъ“ или тембромъ: сто́итъ лишь сравнить звонъ стеклянной посуды, тона̀ рояля и трубные звуки, особенно при одной и той же высотѣ тоновъ.

Къ вопросу о тембрѣ мы обратимся нѣсколько ниже. Вотъ прежде всего нѣсколько наблюденій, показывающихъ, что высота тона разныхъ предметовъ зависитъ отъ ихъ размѣровъ, ихъ формы и свойствъ матерьяла (его упругости и плотности). Измѣняя лишь размѣры, можно изготовлять камертоны, дающіе тона разной высоты. Если взять два однозвучныхъ камертона и у одного изъ нихъ пропилить нѣсколько глубже шейку между двумя вѣтвями, то его тонъ замѣтно понизится (подстройка камертоновъ). Тона́

струнъ (рояля, скрипки и пр.) зависятъ, какъ извѣстно каждому, отъ ихъ размѣровъ (длины и толщины), а также и отъ ихъ матерьяла: кишечная и фортепьянная струна дадутъ, при одинаковости прочихъ условій, тона разной высоты. Натягивая струну сильнѣе или слабѣе, мы увеличиваемъ или уменьшаемъ ея „упругость“, т. е. какъ бы измѣняемъ свойства матерьяла, изъ котораго она сдѣлана; съ измѣненіемъ степени натянутости измѣняется высота тона (настраиваніе струнныхъ инструментовъ).—Зависимость высоты тона отъ размѣровъ тѣла хорошо замѣтна и на звучаніи деревяшекъ разной величины. Если возьмемъ нѣсколько дощечекъ изъ сухого дерева, отличающихся или длиною, или же толщиною и пр., то при бросаніи ихъ на полъ (или подоконникъ) услышимъ явственную разницу въ тонѣ. Различіе въ особенности рѣзко, если изготовить четыре дощечки (брусочка), которыя при бросаніи издавали бы не какіе-нибудь случайные звуки, а тона мажорнаго аккорда (напр. *do*, *mi*, *sol*, do_1).—Наконецъ воздушныя массы различной величины и формы тоже будутъ звучать разными тонами. Можно напр. заставить воздухъ въ склянкѣ при косвенномъ вдуваніи (§ 223) звучать любымъ тономъ, вливая въ нее больше или меньше воды, т. е. измѣняя размѣры, а отчасти и


163.

форму звучащей воздушной массы. При достаточномъ вниманіи и слухѣ нетрудно настроить воздушныя массы въ четырехъ склянкахъ подъ тона мажорнаго аккорда [1]. Нѣкоторыя органныя трубы, кстати сказать, отличаются отъ этого простого приспособленія лишь второстепенными подробностями.

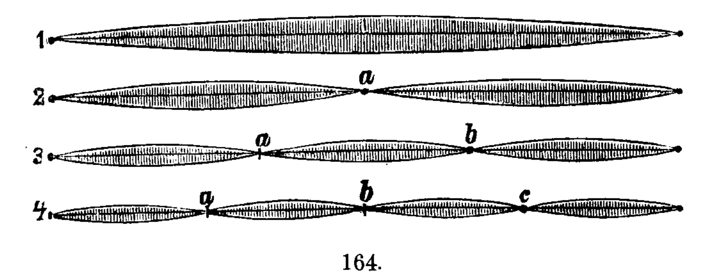
[1] На рис. 163 приблизительно показано, сколько воды должно быть въ нихъ влито. — Для дутья по склянкамъ удобно пользоваться сплющенной у одного конца латунной или эбонитовой трубкою. (См. ниже рис. 168 *D*. Чтобы приплюснуть трубку изъ эбонита, конецъ ея предварительно размягчаютъ нагрѣваніемъ въ горячей водѣ).

246. Въ нѣкоторыхъ отдѣльныхъ случаяхъ между размѣрами тѣла и повторяемостью его звуковыхъ колебаній замѣчается довольно простая числовая зависимость. Возьмемъ напр. нѣсколько струнъ, отличающихся только длиною (слѣдовательно и натянутыхъ въ одинаковой степени); пусть самая длинная изъ нихъ издаетъ нѣкоторый тонъ *do*. Окажется, что струна вдвое болѣе короткая дастъ тонъ октавою выше, т. е. do_1; слѣдовательно вдвое болѣе короткая струна производитъ вдвое большее число колебаній въ одинаковое время. Если струна втрое короче, то повторяемость ея колебаній втрое больше: она именно будетъ звучать тономъ sol_1 — квинтою тона do_1 (надо имѣть въ виду, что $sol_1 : do_1 : do = 3:2:1$); при длинѣ въ 4 раза меньшей струна произведетъ четверное число колебаній, т. е. дастъ do_2. И т. д. Словомъ, повторяемость колебаній струны (при прочихъ равныхъ условіяхъ) находится въ обратномъ отношеніи къ ея длинѣ. Если струну, издающую тонъ *do,* подопремъ — напр. лезвіемъ ножа—такъ, чтобы одна часть составляла $^4/_5$ всей длины струны, и заставимъ эту часть звучать, то услышимъ тонъ *mi,* т. е. тонъ, соотвѣтствующій интервалу $^5/_4$; отдѣливъ $^1/_3$ длины, получимъ *sol,* т. е. тонъ, соотвѣтствующій интервалу $^3/_2$. И т. д. Такъ, подпирая одну и ту же струну на опредѣленныхъ разстояніяхъ отъ ея конца, мы можемъ произвести подъ-рядъ всѣ тона гаммы,—чѣмъ, какъ извѣстно, и пользуются при игрѣ на скрипкѣ и другихъ подобныхъ инструментахъ.

Основной тонъ и высшіе или второстепенные тона.

247. Одно и то же тѣло можетъ издавать тона различной высоты — смотря по тому, какъ оно приведено въ колебательное движеніе. Ударивъ камертономъ о доску стола и о менѣе твердый предметъ (напр. колѣно), услышимъ въ первомъ случаѣ—по крайней мѣрѣ въ началѣ—преобладаніе гораздо болѣе высокаго тона. Подобная же разница въ тонѣ замѣтна, если ударять по различнымъ мѣстамъ стекляннаго колокола (взятаго напр. отъ воздушнаго насоса). Струна можетъ издавать тона́ гораздо болѣе высокіе, чѣмъ обычный (основной ея тонъ), если извѣстнымъ образомъ взять ее смычкомъ. При сильномъ косвенномъ дутьѣ по краю трубки получаются тона гораздо болѣе высокіе, чѣмъ при слабомъ (это хорошо замѣтно на каждой „дудкѣ"). И т. д.

Чтобы хотя отчасти понять причину этихъ различій, обратимся опять къ колебаніямъ струны. Положимъ, что наша струна издаетъ нѣкоторый тонъ *do*. Заставивъ струну звучать, коснемся слегка ея средины—пальцемъ или кускомъ резиновой трубки — и тотчасъ отнимемъ руку: мы теперь ясно услышимъ тонъ октавою выше (do_1), т. е. тонъ съ двойнымъ противъ прежняго числомъ колебаній.



164.

Рис. 164 объясняетъ, въ чемъ здѣсь дѣло. Когда струна звучитъ своимъ основнымъ тономъ (въ данномъ случаѣ *do*), она колеблется цѣликомъ: форма звучащей струны (1) напоминаетъ веретено съ концами въ точкахъ прикрѣпленія струны. Касаясь средины струны, мы задерживаемъ ее въ точкѣ *a*; но при этомъ обѣ половины струны продолжаютъ свое движеніе. Струна именно дѣлится на двѣ половины, разграниченныя неподвижной точкой *a*: въ то время, какъ лѣвая часть струны движется, положимъ, внизъ, правая идетъ вверхъ—и наоборотъ. Звучащая струна принимаетъ форму двойного веретена (2). Значитъ мы теперь имѣемъ какъ бы двѣ струны, изъ которыхъ каждая вдвое короче первоначальной; повторяемость колебаній удваивается: отсюда тонъ do_1. Если, снова заставивъ звучать струну основнымъ тономъ, коснуться на мгновеніе точки, лежащей на $^1/_3$ ея длины, то струна сама собою дѣлится на три колеблющіяся части, раздѣленныя двумя неподвижными точками *a* и *b* (3); каждая треть ея, колеблясь теперь какъ отдѣльная струна, дѣ-

лаетъ втрое большее число колебаній въ секунду, чѣмъ (1): мы услышимъ тонъ sol_1 [1]. Прикасаясь точно такимъ же образомъ на разстояніи 1/4 длины, мы заставимъ струну раздѣлиться на четыре колеблющіяся части съ тремя неподвижными точками (4) и звучать тономъ do_2. И т. д. Дѣленіе струны на колеблющіяся части, разъединенныя неподвижными (почти неподвижными) точками, которыя называются узлами, можно иногда замѣтить глазомъ, напр. при сильномъ освѣщеніи струны; сложенныя вдвое бумажки, будучи насажены на звучащую струну, сдвигаются съ колеблющихся ея частей къ узламъ, мѣстонахожденіе которыхъ и можетъ быть такимъ образомъ обнаружено.

Итакъ струна, кромѣ своего основного тона—самаго низкаго—можетъ давать еще цѣлый рядъ высшихъ тоновъ; послѣдніе называются еще второстепенными или добавочными тонами. Прикосновеніе къ струнѣ въ опредѣленной точкѣ содѣйствуетъ выдѣленію того тона, которому соотвѣтствуетъ узелъ въ этой точкѣ, потому что задерживаетъ основное колебаніе (колебаніе струны какъ цѣлаго) и тѣ второстепенныя, которыя здѣсь не образовали бы узла.

Второстепенные тона происходятъ на ряду съ основнымъ всякій разъ, когда такъ или иначе заставляютъ струну звучать. При этомъ обыкновенно основной тонъ гораздо громче второстепенныхъ, и послѣдніе едва замѣтны. Но можно взять струну смычкомъ такъ, что нѣкоторые второстепенные тона послышатся очень отчетливо; въ особенности рѣзко выдѣляются очень высокіе тона́ (струна подъ смычкомъ „визжитъ").

248. Сказанное о струнѣ можно въ главныхъ чертахъ распространить и на другія звучащія тѣла. Кромѣ основного тона, самого низкаго и обыкновенно самаго громкаго, тѣло можетъ издавать еще много высшихъ тоновъ. Число, порядокъ и относительная громкость этихъ второстепенныхъ тоновъ бываютъ очень различны, смотря по тому, какъ именно звучащее тѣло раздѣлится на самостоятельно колеблющіяся

[1] Припомнимъ, что интервалъ $sol_1/do_1 = 3/2$, а $do_1/do = 2/1$, слѣдовательно $sol_1/do = 3/1$.

части. А это зависитъ какъ отъ свойствъ самаго тѣла, такъ и отъ способа возбужденія его колебаній.

Прислушаемся внимательно къ звуку большого церковнаго колокола: мы услышимъ и одновременно, и другъ за другомъ, много тоновъ помимо основного, самаго низкаго и наиболѣе громкаго; „переливы" этихъ тоновъ въ звукѣ хорошаго колокола образуютъ цѣлую музыку. Въ звукахъ басовыхъ струнъ рояля, если они достаточно громки, хорошій слухъ также отличаетъ, на ряду съ основнымъ, нѣкоторые второстепенные тона. Существуютъ пріемы, при помощи которыхъ удается съ полною очевидностью выдѣлять рядъ второстепенныхъ тоновъ изъ множества звуковъ, обыкновенно кажущихся нашему уху чѣмъ-то нераздѣльнымъ, каковы напр. тона музыкальныхъ инструментовъ и звуки нашего собственнаго голоса. Словомъ, изслѣдованія приводятъ къ тому окончательному выводу, что обыкновенно тона́ можно считать сложными, т. е. какъ бы состоящими изъ основного и второстепенныхъ или добавочныхъ тоновъ (не говоримъ объ исключительныхъ случаяхъ).

249. Мы можемъ теперь составить себѣ нѣкоторое понятіе о причинѣ различій въ отпечаткѣ (характерѣ) или—какъ принято предпочтительно говорить—тембрѣ тоновъ [1]. Всякій ясно слышитъ разницу въ характерѣ тона, если одна и та же нота взята на роялѣ, на скрипкѣ, извлечена изъ органной трубы или пропѣта человѣческимъ голосомъ. По „тембру" мы узнаёмъ голосъ знакомаго намъ человѣка среди множества другихъ. Различія въ тембрѣ объясняются именно различною сложностью тоновъ. О „высотѣ" звука мы обыкновенно судимъ по основному тону, какъ самому громкому. Но при одномъ и томъ же основномъ тонѣ, звукъ можетъ содержать въ разныхъ случаяхъ очень различные второстепенные тона. Разница въ тембрѣ происходитъ отъ различій въ числѣ, подборѣ и сравнительной громкости второстепенныхъ тоновъ. Тонъ всякаго музыкальнаго инструмента или человѣческаго голоса можно уподобить болѣе или менѣе сложному аккорду,

[1] Французское слово timbre именно и значитъ печать, отпечатокъ.

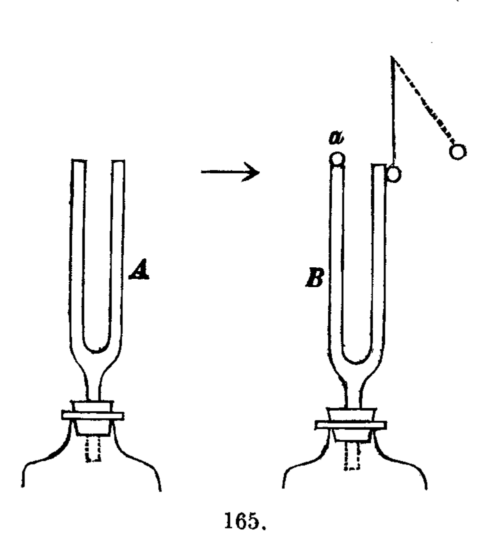
въ которомъ одинъ тонъ—самый низкій—значительно преобладаетъ надъ другими.

О звуковой отзывчивости (резонансѣ) и объ „анализѣ“ звуковъ помощью резонаторовъ.

250. Разсмотримъ теперь рядъ явленій, которыя дадутъ намъ возможность понять способъ распознаванія сложности тоновъ.

Иногда приходится слышать, какъ въ комнатѣ, гдѣ производится громкій тонъ, этотъ самый тонъ повторяется, хотя и гораздо слабѣе, какимъ-нибудь звонкимъ предметомъ. Такая звуковая отзывчивость наблюдается именно тогда, когда производимый нами тонъ по высотѣ одинаковъ съ собственнымъ тономъ предмета.

Возьмемъ два однозвучныхъ (согласныхъ) камертона, установленныхъ на подстановкахъ (ящикахъ) одинъ противъ другого, и ударимъ по одному изъ нихъ. Задержавъ затѣмъ его колебанія рукою, услышимъ звучаніе другого. На несогласныхъ камертонахъ мы не замѣтимъ этого явленія.—Звуковую отзывчивость можно здѣсь сдѣлать видимою слѣдующимъ образомъ. Одинъ изъ камертоновъ приводятъ въ соприкосновеніе съ легкимъ маятничкомъ (изъ полой внутри бусины), а другой заставляютъ звучать: маятничекъ отбрасывается (рис. 165). Онъ станется въ покоѣ, если оба камертона разныхъ тоновъ. При наблюденіи съ помощью маятничка — что всего важнѣе—вполнѣ достаточно пары обыкновенныхъ фортепьянныхъ камертоновъ. Ножки ихъ вставляются съ помощью пробокъ въ небольшія аптечныя склянки (какъ и представлено на рис. 165). Ударяютъ деревяннымъ молоткомъ съ пробочною вставкою. Разстояніе



165.

между камертонами не должно быть велико (вообще не болѣе полуаршина). — Вмѣсто маятничка можно также просто положить на ножку камертона бусину или бузинный шарикъ (*a* рис. 165); если ударить по другому камертону, не подстроенному въ одинъ тонъ съ первымъ, то шарикъ останется на мѣстѣ; при одинаковомъ же тонѣ онъ сбрасывается.

Вотъ еще опытъ. Воздухъ въ маленькой склянкѣ подстраивается наливаніемъ воды (§ 245) или, лучше, ртути подъ тонъ какого-либо стекляннаго колокола, напр. снятаго съ тарелки воздушнаго насоса (можно взять и большую склянку съ отрѣзаннымъ дномъ). Когда воздушная масса въ склянкѣ при сильномъ косвенномъ дутьѣ по горлышку будетъ звучать въ одинъ тонъ съ колоколомъ (чѣмъ выше тонъ, тѣмъ лучше), послѣдній станетъ хорошо отзываться на тонъ склянки; при тщательной подстройкѣ откликъ замѣтенъ уже на разстояніи нѣсколькихъ шаговъ.—Камертонъ съ положеннымъ на его ножку легкимъ шарикомъ тоже годится въ качествѣ „пріемника“ звука.

251. Желая объяснить себѣ происхожденіе звуковой отзывчивости, или резонанса, надо имѣть въ виду, что отзывающійся предметъ приводится въ колебательное движеніе рядомъ звуковыхъ волнъ, которыя достигаютъ до него отъ источника звука чрезъ посредство воздуха или другихъ находящихся между ними тѣлъ: онъ приводится въ колебаніе какъ бы рядомъ слѣдующихъ другъ за другомъ толчковъ. Если послѣдовательность ихъ согласуется съ собственными колебаніями предмета, то повторяющіеся другъ за другомъ толчки будутъ содѣйствовать усиленію разъ начавшихся колебаній; въ противномъ случаѣ начавшееся движеніе можетъ быть задержано несвоевременными дальнѣйшими толчками.

Положимъ напр., что оба взятыхъ нами камертона способны производить по 400 колебаній въ секунду. Когда одинъ изъ нихъ звучитъ, то другой получаетъ отъ него въ теченіе секунды 400 толчковъ, т. е. какъ разъ столько, сколько качаній онъ самъ сдѣлалъ бы въ то же время. Каждый слѣдующій толчокъ будетъ поэтому усиливать дѣйствіе, произведенное предыдущимъ, въ отдѣльности конечно слабое, — и колебанія второго камертона чрезъ короткое время могутъ сдѣлаться слышными. Напротивъ, если бы ударяемый

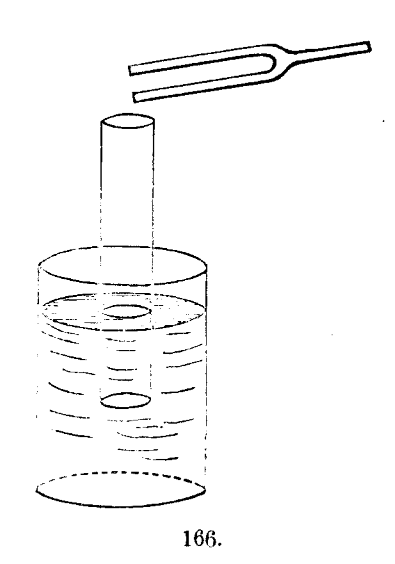
нами камертонъ производилъ не 400, а напр. 430 колебаній въ секунду, то разъ начавшіяся слабыя колебанія скоро были бы задержаны несвоевременными послѣдующими толчками. Нѣчто весьма сходное извѣстно каждому, кому приходилось раскачивать тяжелую качель: толчками, слѣдующими другъ за другомъ въ тактъ съ собственными колебаніями качели, можно мало-по-малу сообщить ей сильные размахи; несвоевременно повторяемые толчки, напротивъ, будутъ лишь противодѣйствовать другъ другу. Языкъ большого колокола тоже раскачиваютъ рядомъ толчковъ, приноровленныхъ къ такту собственныхъ колебаній языка. Раскачиваніе висячаго моста можетъ стать опаснымъ для его цѣлости, если по нему проходитъ напр. много солдатъ, марширующихъ въ тактъ съ собственными колебаніями моста.—Такое именно усиленіе дѣйствія слабыхъ, но своевременно повторяющихся толчковъ мы имѣемъ въ явленіи отзывчивости двухъ согласныхъ камертоновъ.—Громкой и хорошо выдержанной нотой своего голоса пѣвецъ можетъ разбить стаканъ, приведя его стѣнки въ сильное колебаніе.

252. Воздушная масса, какъ мы знаемъ (§ 245), тоже можетъ приходить въ состояніе колебательнаго движенія, издающаго опредѣленный тонъ, и она тоже хорошо отзывается на соотвѣтствующій ей тонъ. Возьмемъ двѣ склянки и вливаніемъ воды подстроимъ тонъ воздушной массы одной изъ нихъ согласно камертону *la* (употребляемому для настройки музыкальныхъ инструментовъ), а другой—по камертону, дающему ближайшее высшее *do*. Каждая изъ воздушныхъ массъ, при тщательной подстройкѣ, будетъ сильно звучать, если, ударивъ соотвѣтствующій ей камертонъ, поднести его къ отверстію склянки, и почти не будетъ отзываться на звукъ другого камертона. То же самое можно произвести напр. съ камертонами *la* и *sol*, взявъ соотвѣтственно подстроенныя воздушныя массы.

Если поднести звучащій камертонъ къ отверстію стекляннаго цилиндра (ламповаго стекла), опущеннаго нижнимъ концомъ въ сосудъ съ водою (рис. 166), то воздушная масса отзовется при нѣкоторомъ совершенно опредѣленномъ погруженіи цилиндра въ воду. Увеличивая или уменьшая воздушную массу тѣмъ или инымъ погруженіемъ цилиндра, найдемъ новое положеніе, при которомъ воздухъ отзовется

на тонъ болѣе низкій или болѣе высокій, производимый другимъ камертономъ.

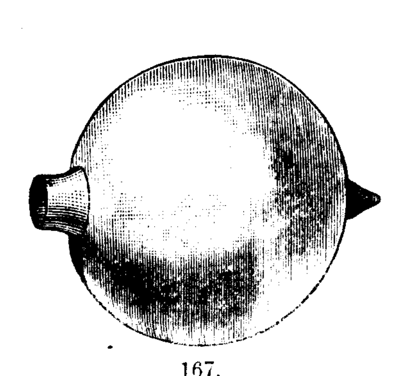
Въ подобныхъ случаяхъ воздухъ тоже приводится въ сильное колебательное движеніе рядомъ толчковъ, слѣдующихъ другъ за другомъ въ тактъ съ его собственными колебаніями.



166.

253*. Послѣ этого уже будетъ понятно, какимъ образомъ изъ совокупности тоновъ можно выдѣлить тѣ или другіе. Положимъ, что звуки аккорда достигаютъ цѣлаго ряда камертоновъ, настроенныхъ на всевозможные тона музыкальной гаммы. Прислушиваясь къ камертонамъ и замѣчая, которые изъ нихъ отзываются, мы въ состояніи будемъ узнать, какіе именно тона входятъ въ составъ аккорда (и даже частью судить объ относительной ихъ громкости).

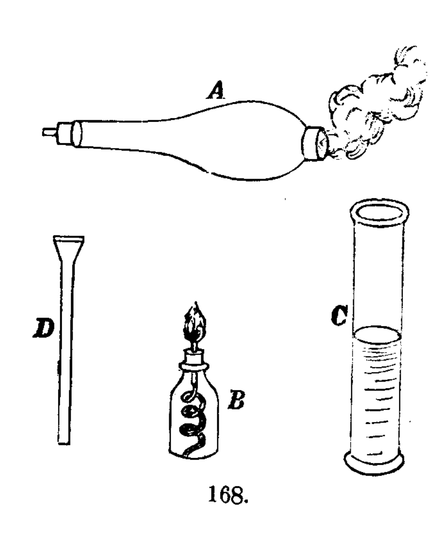
Приспособленія, служащія для подобныхъ цѣлей, называются резонаторами. Чаще всего пользуются резонаторами воздушными, т. е. воздушными массами разной величины и формы, причемъ каждая отзывается на тотъ тонъ, который она можетъ издавать сама. Изготовляются напр. металлическіе или стеклянные полые шары, снабженные двумя отверстіями (рис. 167): болѣе широкое обращаютъ въ сторону производимыхъ звуковъ, а другое, болѣе узкое, вкладываютъ въ ухо. Чѣмъ больше шаръ, тѣмъ ниже собственный тонъ воздушной массы. Смотря по собственному тону резонатора, онъ отзывается на тотъ или другой тонъ



167.

и усиливаетъ впечатлѣніе, производимое имъ на наше ухо. Такимъ образомъ, прислушиваясь къ звукамъ чрезъ посредство резонаторовъ, можно различать отдѣльныя составныя части какого либо сложнаго тона.

254*. Простые воздушные резонаторы легко изготовлять напр. изъ ламповыхъ стеколъ, вставляя слегка оттянутую къ концу трубочку при помощи пробки въ болѣе узкій конецъ стекла (*A* рис. 168).



168.

Дѣйствіе такихъ резонаторовъ можно сдѣлать видимымъ слѣдующимъ образомъ. *a*) На край болѣе широкаго (открытаго) конца насыпаютъ немного плауннаго сѣмени (въ аптекахъ semen Licopodii) или пробочной пыли (истертой напилкомъ пробки). Если по близости произвести тонъ одинаковый съ собственнымъ тономъ резонатора (который опредѣляется умѣреннымъ косвеннымъ дутьемъ по отверстію чрезъ упомянутую въ § 245 сплющенную трубку *D*, рис. 168), то легкій порошокъ съ силой выбрасывается наружу; при иномъ тонѣ онъ остается на мѣстѣ. *b*) Изготовляютъ—изъ маленькой склянки съ пробкою, въ которую вставленъ кусочекъ латунной трубки,—лампочку, фитиль которой напитываютъ вазелиннымъ масломъ (см. *B* рис. 168); слабое пламя такой лампочки гаснетъ при малѣйшемъ движеніи воздуха и поэтому съ успѣхомъ можетъ замѣнить собою плаунное сѣмя въ только что описанномъ опытѣ. Помѣщаютъ лампочку у самаго резонатора такъ, чтобы пламя приходилось примѣрно посрединѣ отверстія (лампочку укрѣпляютъ въ какомъ-нибудь штативѣ), и производятъ вблизи надлежащій тонъ: пламя тотчасъ гаснетъ; тонъ же неодинаковый съ тономъ резонатора не окажетъ какого-либо видимаго дѣйствія. Тона производятся съ помощью склянокъ или цилиндра (*C*), подстроенныхъ вливаніемъ воды. Разстояніе звукового источника до отверстія

резонатора не должно быть велико (около ¼ аршина и никакъ не болѣе полуаршина).

На слухъ дѣйствіе такихъ резонаторовъ испытываютъ, вкладывая узкій конецъ въ ушное отверстіе и производя противъ резонатора подходящій и неподходящіе тона. (Очень важно, чтобы отверстіе наконечника не упиралось въ какіялибо мягкія части, т. е. чтобы оно не было закрыто; имѣющіе дѣло съ резонаторами въ первый разъ часто упускаютъ изъ виду эту предосторожность).

Прислушиваясь чрезъ резонаторъ къ сложнымъ окружающимъ насъ звукамъ (говору, шепоту, шороху и пр.), можно ясно слышать, какъ одинъ тонъ, именно тонъ взятаго резонатора, выдѣляется среди остальныхъ [1].

Тѣ же резонаторы даютъ возможность выдѣлить основной тонъ и изъ звуковъ, высота которыхъ недостаточно опредѣленна. Извѣстно напр., что если ударять подъ-рядъ по нѣсколькимъ бревнамъ или доскамъ (ящикамъ) разной величины, то уже можно чрезъ сравненіе замѣтить нѣкоторое различіе въ высотѣ тоновъ. Но разница дѣлается гораздо опредѣленнѣе, если прислушиваться къ такимъ звукамъ чрезъ резонаторы. Для опытовъ изготовляютъ пару сухихъ сосновыхъ досокъ, основные тона которыхъ одинаковы съ тонами пары резонаторовъ. Вложивъ наконечникъ резонатора въ ухо и ударивъ по соотвѣтствующей (подвѣшенной на шнуркахъ) доскѣ деревяннымъ молоткомъ, получаютъ ощущеніе рѣзкаго различія тоновъ. При хорошей подстройкѣ дѣйствіе на воспріимчивое ухо бываетъ иногда невыносимо сильно.

255*. Вотъ какимъ образомъ помощью резонаторовъ, съ различными усложненіями въ подробностяхъ, удается производить **анализъ тоновъ**, т. е. распознавать въ нихъ,

[1] Подобное же явленіе, хотя и менѣе отчетливо, можно наблюдать, обративъ къ уху—какъ можно ближе къ нему—отверстіе стакана. Немного наклоняя стаканъ или чуть измѣняя его разстояніе отъ уха, мы услышимъ тотъ или иной тонъ вслѣдствіе усиленія его предпочтительно предъ другими. Въ особомъ шумѣ, который слышится при поднесеніи къ уху нѣкоторыхъ раковинъ (именно съ болѣе или менѣе замкнутою полостью), тоже можно отличить тонъ разной высоты, смотря по размѣрамъ и формѣ раковины; каждая такая раковина является резонаторомъ на опредѣленный тонъ.

кромѣ основного — самаго низкаго и обыкновенно самаго громкаго—еще рядъ высшихъ или второстепенныхъ тоновъ. Отъ того, какіе именно добавочные тона присоединяются къ основному (отъ ихъ числа, подбора и относительной громкости), зависитъ, какъ уже упомянуто выше, разница во впечатлѣніи, производимомъ на наше ухо тонами различнаго происхожденія, даже при одинаковой высотѣ и одинаковой громкости ихъ,—разница въ тембрѣ.

Всякій тонъ, можно сказать, характеризуется тремя признаками: высотою, громкостью (силою) и тембромъ.

Описанные выше опыты выдѣленія опредѣленныхъ тоновъ изъ разнообразныхъ звуковъ въ комнатѣ, изъ звука, получаемаго ударомъ по доскѣ или ящику и пр., могутъ уяснить намъ связь между настоящими тонами и такими звуками, которые мы обыкновенно не относимъ къ тонамъ, каковы стукъ, шорохъ, шелестъ и другіе „шумы“. Изъ послѣднихъ также могутъ быть при посредствѣ резонаторовъ выдѣлены различнѣйшіе тона. Но они смѣшаны въ этихъ звукахъ безъ всякаго порядка, и обыкновенно ни одинъ изъ нихъ не преобладаетъ надъ остальными, какъ это именно бываетъ въ звукахъ, которые мы ясно отличаемъ другъ отъ друга по высотѣ. Однако при хорошемъ слухѣ и нѣкоторомъ вниманіи, какъ было упомянуто, можно уже замѣтить разницу въ высотѣ звуковъ, получаемыхъ при ударѣ напр. по нѣсколькимъ бревнамъ, доскамъ или деревяннымъ ящикамъ, а также и по другимъ мало звучнымъ предметамъ. Прислушиваясь къ шуму вѣтра, журчанію ручья и т. п., мы часто замѣчаемъ въ нихъ ясные признаки такого же различія. Между тонами и прочими звуками нельзя именно провести какой-либо рѣзкой границы.

256. Съ помощью резонаторовъ удалось произвести анализъ и нѣкоторыхъ звуковъ человѣческой рѣчи, именно звуковъ, соотвѣтствующихъ протяжному произношенію (пѣнію) гласныхъ буквъ: а, е, и, о, у. Взявъ затѣмъ рядъ камертоновъ, настроенныхъ на основной и второстепенные тона того или другого гласнаго звука и заставляя ихъ одновременно звучать, съ соблюденіемъ надлежащей громкости тоновъ, удалось съ большой отчетливостью воспроизвести гласные звуки. Звуки согласныхъ буквъ оказываются гораздо болѣе сложными, и искусственное воспроизведеніе ихъ еще не достигнуто.

257. Въ происхожденіи звуковъ нашего голоса участвуютъ не только помѣщающіяся въ гортани голосовыя связки: дѣятельная роль принадлежитъ также полости, ограничиваемой щеками и ртомъ (извѣстное значеніе имѣетъ и носовая полость, сообщающаяся съ ротовою). Эта полость представляетъ изъ себя совершеннѣйшій резонаторъ, какой только можно себѣ представить. Быстро и точно приспособляя форму и объемъ къ резонированію на тѣ или иные тона, ротовая полость способствуетъ усиленію требуемыхъ тоновъ и выдѣленію ихъ изъ цѣлаго ряда другихъ. Извѣстно, что если при легкомъ напряженіи щекъ ударять по щекѣ пальцемъ, то можно извлекать различнѣйшіе тона; то же достигается — и нѣкоторыми съ большимъ искусствомъ — при постукиваніи по зубамъ. Самъ по себѣ ударъ по щекѣ или зубу производитъ очень сложный звукъ, не имѣющій характера тона; но нашъ резонаторъ, принимая ту или иную форму, усиливаетъ въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ изъ множества тоновъ преимущественно одинъ. Легко убѣдиться, что въ названныхъ примѣрахъ, извлекая разные тона, мы каждый разъ измѣняемъ форму полости щекъ и рта. — Такимъ же точно образомъ изъ сложнаго шипящаго звука, производимаго продуваніемъ воздуха чрезъ вытянутыя губы, извлекается рядъ разнообразнѣйшихъ тоновъ (насвистываніе мелодій).

Голосовыя связки приводятся въ движеніе вытѣсняемымъ изъ легкихъ воздухомъ и сами по себѣ издаютъ сложные тона, которые, въ зависимости отъ натяженія связокъ, могутъ измѣняться только по высотѣ. Нашъ резонаторъ, измѣняя форму и объемъ, можетъ усиливать или основной тонъ, или отдѣльные высшіе тона́ голосовыхъ связокъ. Усиливая же тѣ или другіе тона резонансомъ ротовой полости, мы измѣняемъ качество голоса. Извѣстно, какую важную роль играетъ здѣсь, кромѣ всего остального, продолжительный навыкъ (въ особенности напр. при обученіи пѣнію): немало усилій идетъ при этомъ на пріобрѣтеніе умѣнья быстро и точно приспособлять форму резонирующей полости соотвѣтственно тѣмъ тона́мъ, которые должны быть выдѣлены среди многихъ другихъ. Голосъ совсѣмъ измѣняется, когда звуки выходятъ

минуя резонирующую полость, какъ это бываетъ у лицъ, которымъ была произведена операція прорѣзыванія гортани,— когда именно гортанное отверстіе не заткнуто.

Послѣ сказаннаго будетъ отчасти понятна важная роль нашего резонатора въ произношеніи тѣхъ или иныхъ гласныхъ буквъ и слѣдовательно въ происхожденіи звуковъ нашей рѣчи вообще. Изъ сложнаго звука, издаваемаго голосовыми связками, резонирующая полость выдѣляетъ тѣ именно тона́, которые характерны для данной гласной, и исполняетъ здѣсь свою роль безукоризненно. Въ правильности такого объясненія можетъ убѣдиться каждый, кто попытается прознести напр. букву у, удерживая ту форму ротовой полости, при которой выходила гласная а.

258. Въ заключеніе вотъ нѣсколько интересныхъ наблюденій надъ звуковою отзывчивостью и резонаторами, которыя каждый, обладающій хотя бы посредственнымъ слухомъ, легко можетъ сдѣлать съ помощью піанино или рояля.

Приложимъ къ уху одинъ конецъ ламповаго стекла или картонной трубки и будемъ послѣдовательно ударять по разнымъ клавишамъ. Мы найдемъ, что воздухъ въ ламповомъ стеклѣ или трубкѣ отзывается лучше всего на нѣкоторый опредѣленный тонъ, усиливая именно его. Нетрудно будетъ найти ламповое стекло другихъ размѣровъ, которое окажется резонаторомъ для иного тона. Если сдѣлать изъ папки раздвижную трубку, то, сдвигая и раздвигая ее, т. е. укорачивая или удлиняя въ ней столбъ воздуха, можно будетъ „настраивать" такой резонаторъ на тотъ или другой тонъ.

Самыя струны рояля являются очень простыми и превосходнѣйшими резонаторами. Нажмемъ клавишу, отвѣчающую одному изъ тѣхъ тоновъ, который мы могли бы громко и чисто взять голосомъ. Освободивъ такимъ образомъ струну (отъ наложеннаго на нее т. наз. демфера) и удерживая клавишу нажатой, пропоемъ тонъ, соотвѣтствующій избранной нотѣ: струна отчетливо повторитъ его. Если нажмемъ одновременно двѣ или три клавиши рядомъ, и чисто повторимъ тонъ голосомъ, то на него отзовется опять лишь прежняя струна. Обладая хорошимъ слухомъ и нѣкоторымъ навыкомъ въ пѣніи нотъ, можно подобрать такъ еще нѣсколько струнъ болѣе высокихъ тоновъ, которыя будутъ отзываться на второстепенные тона́ пропѣтаго звука. Если же, открывъ крышку рояля, нажать правую педаль, т. е. освободить сразу всѣ струны, и взять голосомъ какую-либо ноту, то отзовутся многія струны, указывая тѣмъ на большую сложность произведеннаго звука. Если нота была пропѣта на одну изъ гласныхъ: *а*, *о*, *у* и пр., то инструментъ откликнется тою же гласной.

Въ качествѣ резонаторовъ, настроенныхъ на различнѣйшіе тона, струны рояля легко позволяютъ произвести анализъ тона какой-либо одной изъ нихъ. Если напр., сильно ударяя ноту *do*, станемъ нажиманіемъ клавишъ другою рукою освобождать струны болѣе высокихъ тоновъ, то найдемъ, что хорошо отзовутся тона́ do_1, sol_1, do_2, mi_2, sol_2, do_3, т. е. именно тѣ, которые отвѣчаютъ ряду второстепенныхъ тоновъ струны *do* (см. выше § 247; рядъ этотъ можно и еще продолжить). Если же будемъ удерживать нажатою клавишу *do* и станемъ послѣдовательно брать ноты, соотвѣтствующія указанному ряду высшихъ тоновъ, то струна *do* будетъ ясно отзываться на каждый изъ нихъ, такъ какъ будетъ дѣлиться на 2, 3, 5, 6 самостоятельно колеблющихся частей, разграниченныхъ узлами.

Наконецъ струны рояля, освобожденныя отъ демферовъ нажатіемъ правой педали, хорошо отзываются и на всякаго рода звуки, напр. на хлопанье въ ладоши, причемъ приблизительно воспроизводится и общій характеръ звука.

259*. Важнѣйшій выводъ, который мы можемъ сдѣлать изъ двухъ главъ о звукѣ, будетъ слѣдующій. То, что для нашего органа слуха есть звукъ, производитъ въ чувствующихъ нервахъ нашей кожи осязательное ощущеніе (родъ щекотки), а для зрѣнія являлось бы колебательнымъ движеніемъ. Одинъ и тотъ же внѣшній дѣятель производитъ въ насъ разныя ощущенія, смотря по тому о́ргану чувствъ, который имъ возбуждается. Мы видимъ, какъ существенно при изученіи явленій окружающаго насъ міра отличать наши ощущенія отъ той внѣшней причины, которая ихъ вызываетъ.

Мы видимъ далѣе, къ какимъ любопытнымъ результатамъ приводитъ изученіе звука, разсматриваемаго внѣ насъ какъ нѣкоторое колебательное движеніе тѣла или его частей; примѣняя къ этому движенію то, что извѣстно о движеніяхъ непосредственно доступныхъ нашему зрѣнію, можно предвидѣть и открывать новыя связи между явленіями. Хорошимъ примѣромъ можетъ служить весь путь отъ простого наблюденія надъ тѣмъ, какъ нѣкоторые предметы въ комнатѣ отзываются на громкіе звуки,—до резонаторовъ и анализа тоновъ, до возможности выдѣлить опредѣленные тона даже изъ стука телѣги, ѣдущей по мостовой, и наконецъ до искусственнаго воспроизведенія гласныхъ звуковъ человѣческой рѣчи [1].

[1] Звуковыми колебаніями воздуха можно привести въ движеніе

240. Если проводить пальцемъ по зубцамъ гребенки медленно и быстро, то слышатся тона болѣе низкіе и болѣе высокіе; отчего это зависитъ? Отчего тонъ, издаваемый барабаномъ хлѣбной молотилки, тѣмъ выше, чѣмъ быстрѣе ея ходъ? — **241.** Положимъ, что зубчатымъ колесомъ съ 120 зубцами производятъ тонъ (*la*) камертона, служащаго для настройки музыкальныхъ инструментовъ, причемъ колесо дѣлаетъ 87 оборотовъ въ 24 секунды. Какому числу колебаній въ секунду отвѣчаетъ этотъ тонъ?— **242.** 1) Если нѣкоторый тонъ соотвѣтствуетъ 400 колебаніямъ въ сек., то сколькимъ колебаніямъ будетъ отвѣчать его большая терція, квинта, октава?—2) Интервалъ $la/do={}^5/_3$; нормальному камертону *la* соотвѣтствуетъ 435 колебаній въ сек. Сколько колебаній въ сек. дѣлаетъ ближайшее низшее *do*? Ближайшее высшее? *Отв.* $435.{}^3/_5=261$; $2.261=522$.—3) *Первое дискантовое do* (напр. рояля) отвѣчаетъ 261 колебанію въ сек., а интервалъ $fa/do={}^4/_3$. Какому числу колебаній въ сек. соотвѣтствуютъ тона́ мажорнаго аккорда, начинающагося съ перваго дискантоваго *fa*? *Отв.* 348, 435, 522, 696 (fa, la, do, fa_1).—4) Клавіатура рояля начинается съ *la* и содержитъ 7 октавъ, причемъ *la*, соотвѣтствующее нормальному камертону (435 полныхъ колебаній въ сек.), приходится на 4-ю октаву. Каково отношеніе между повторяемостью колебаній двухъ крайнихъ тоновъ рояля и сколько каждый изъ нихъ совершаетъ въ секунду? *Отв.* Отношеніе$=2^7=128$; самому низкому соотв. $\frac{435}{2^4}=27{}^3/_{16}$, а самому высокому $435.2^3=3480$ колебаній въ сек.—5) Отыскать на роялѣ, начиная напр. съ *do*, послѣдовательный рядъ тоновъ, которые по числу колебаній въ сек. относились бы другъ къ другу, какъ 1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6.—6) Положимъ, обыкновенный мужской голосъ могъ взять басовую ноту, соотвѣтствующую второму *mi* клавіатуры (считая слѣва), а изъ дискантовыхъ—соотвѣтствующую пятому *mi*. Какому числу колебаній въ сек. отвѣчаютъ крайнія ноты такого голоса? *Отв.* Басовая $\frac{261}{4}.\ \frac{5}{4}$, или приблиз. 80, а дискантовая $522.\frac{5}{4}=650$.—7) Семилѣтній мальчикъ могъ „пищать“ тономъ послѣдняго *mi* клавіатуры. Сколькимъ колебаніямъ въ сек. соотвѣтствуетъ этотъ пискъ? *Отв.* $261.8.\frac{5}{4}=2610$. (Рекомендуется сдѣлать подобные наблюденія и разсчеты примѣнительно къ собственному и дѣтскому голосу).—

пластинку со штифтикомъ, который будетъ дѣлать мѣтки (углубленія) на вращающемся кругѣ. Если потомъ вертѣть кругъ съ тою же самою скоростью, давъ штифтику бороздить по сдѣланнымъ раньше мѣткамъ, то пластинка въ точности повторитъ колебанія — воспроизведетъ „записанные“ приборомъ звуки. На этомъ основанъ всѣмъ извѣстный *граммофонъ* (видоизмѣненіе болѣе совершеннаго прибора, *фонографа*).

253—255. Вливая воду въ бутылку струей (напр. изъ водопроводнаго крана), можно слышать явственное *повышеніе тона* по мѣрѣ наполненія бутылки. Какъ объяснить себѣ это на основаніи сказаннаго о воздушныхъ резонаторахъ и объ анализѣ звуковъ? *Отв.* Изъ шума падающей воды выдѣляются отдѣльные тона— тѣмъ болѣе высокіе, чѣмъ меньше масса воздуха въ бутылкѣ.— **259.** Чѣмъ неправильны обычныя выраженія (къ которымъ однако ради краткости часто приходится прибѣгать): „*звукъ* распространяется“, „*звукъ* отражается“ и т. п.? Какъ слѣдовало бы говорить и почему? [1]

XVI.

О свѣтѣ, его распространеніи и отраженіи.

Источники свѣта: самосвѣтящіяся и освѣщенныя тѣла.

260. Каждое въ достаточной степени нагрѣтое (раскаленное) твердое или жидкое тѣло начинаетъ свѣтить — становится „источникомъ свѣта“. Важнѣйшій для насъ свѣтовой источникъ — конечно солнце, громадный раскаленный шаръ, находящійся почти въ полутораста милліонахъ верстъ разстоянія отъ земли. Изъ извѣстныхъ намъ на землѣ источниковъ свѣта мы чаще всего пользуемся огнемъ, пламенемъ, высокая температура котораго поддерживается благодаря длящемуся химическому соединенію горючаго матерьяла съ кислородомъ воздуха. Въ наше время все болѣе и болѣе распространяется еще другой способъ поддерживать тѣла въ раскаленномъ состояніи и такимъ образомъ дѣлать ихъ источниками свѣта—такъ называемое „электрическое освѣщеніе“, съ которымъ мы познакомимся впослѣдствіи.

Припомнимъ (см. выше, §§ 201 — 205), что „пламя“ есть горящій и раскаленный газъ и что въ пламени свѣчи, керосина и пр. свѣтятъ главнымъ образомъ находящіяся въ немъ раскаленныя частички угля (копоть, сажа); если усилить притокъ воздуха настолько, чтобы этотъ уголь быстро сгоралъ внутри пламени (превращался въ углекислый газъ),

---

[1] Рядъ простыхъ опытовъ по звуку см. въ моей брошюрѣ „Простые физическіе опыты и приборы“ (изд. И. Д. Сытина, 1908), въ которой можно найти описаніе и нѣкоторыхъ другихъ опытовъ, вошедшихъ въ „[redacted] физику“.

то оно начинаетъ свѣтить гораздо слабѣе, хотя температура его повышается. Когда горѣніе развиваетъ очень высокую температуру, а накаливаются частички твердаго негорючаго тѣла, то происходитъ очень яркій свѣтъ. Соединеніе этихъ двухъ условій мы имѣемъ напр. при горѣніи магнія: здѣсь свѣтитъ сильно накаливающаяся магнезія, продуктъ сгоранія магнія. Того же достигаютъ, вводя въ жаркое—но само по себѣ мало свѣтящее—пламя твердыя негорючія тѣла въ мелко-раздробленномъ видѣ (сѣтка такъ наз. ауеровской горѣлки).

261. Хотя всѣ искусственные свѣтовые источники по силѣ далеко уступаютъ солнцу, они имѣютъ съ нимъ очевидно нѣчто общее: все это раскаленныя въ большей или меньшей степени тѣла; подобно солнцу, они не только свѣтятъ, но и грѣютъ [1]. Однако не надо думать, что только накаленныя тѣла могутъ издавать свѣтъ. Извѣстно много явленій свѣченія, происходящихъ отъ другихъ причинъ. Очень обыкновеннымъ примѣромъ служитъ свѣченіе т. наз. иванова червячка (жучка): ясно, что свѣтъ здѣсь не можетъ быть слѣдствіемъ высокой температуры. Назовемъ еще свѣченіе гнилого дерева, свѣченіе моря (то и другое производится мелкими самосвѣтящимися организмами), свѣченіе фосфора. Есть нѣкоторыя искусственно приготовляемыя вещества, которыя долго свѣтятся въ темнотѣ, если были сперва подвергнуты дѣйствію сильнаго свѣта, хотя бы на короткое время. (Такъ дѣлаются вещи, издающія слабый свѣтъ ночью, если днемъ находились на свѣту). Слабое свѣтовое мерцаніе можно замѣтить при раскалываніи въ темнотѣ кусковъ сахара. Упомянемъ наконецъ свѣтъ сѣверныхъ сіяній. Во всѣхъ подобныхъ случаяхъ свѣченіе вызывается не высокою температурою, а иными — довольно разнообразными — причинами. Практическаго значенія эти источники свѣта пока не имѣютъ, такъ какъ они слишкомъ слабы; но изученіе ихъ послужило поводомъ къ замѣчательнѣйшимъ открытіямъ.

262. Мы „видимъ“ свѣтящійся предметъ безъ того чтобы онъ прикасался къ нашему глазу: онъ можетъ находиться отъ насъ на значительномъ разстояніи (даже огромномъ, каковы звѣздныя разстоянія). Слѣдовательно глазъ нашъ какимъ-то образомъ сообщается чрезъ пространство со свѣтящимся тѣломъ. Если заслонить глазъ „непрозрачнымъ“ предметомъ, то сообщеніе сразу исчезаетъ.

Мы говоримъ, что „свѣтъ распространяется“ отъ свѣтящаго тѣла, какъ говоримъ, что распространяется звукъ. Выражаясь правильнѣе, пришлось бы конечно сказать, что отъ тѣла исходитъ нѣчто, производящее въ насъ свѣтовое ощущеніе чрезъ посредство нашего глаза. Не надо именно смѣшивать свѣтового „ощущенія“ съ тою внѣшней причиною, которая производитъ его при посредствѣ органа зрѣнія въ нашемъ мозгу; необходимость такого различенія была достаточно подчеркнута въ статьѣ о звукѣ. Та же самая внѣшняя причина можетъ вызвать въ насъ совсѣмъ иное ощущеніе, если она дѣйствуетъ на другой органъ чувствъ. Напр. солнечный „свѣтъ“, падая на поверхность нашей кожи, производитъ въ насъ ощущеніе тепла. Но пока мы ограничиваемся разборомъ свѣтовыхъ явленій, мы для краткости будемъ просто говорить „свѣтъ“, „свѣтовой“ лучъ.

263*. Вернемся къ источникамъ свѣта. Во всѣхъ поименованныхъ выше случаяхъ мы имѣемъ дѣло съ тѣлами самосвѣтящимися. Но временнымъ источникомъ свѣта можетъ быть и темный самъ по себѣ предметъ, когда онъ достаточно сильно освѣщенъ. Именно свѣтъ, подобно звуку, въ большей или меньшей степени отбрасывается, отражается, отъ предметовъ, на которые падаетъ. Отраженіе свѣта отъ зеркала или другихъ полированныхъ плоскостей, отъ поверхности воды и пр. всѣмъ извѣстно. Свѣтлое пятно („зайчикъ“) на стѣнѣ или потолкѣ комнаты даетъ намъ возможность опредѣлить и направленіе, по которому свѣтовые „лучи“ отразились отъ зеркала: мы замѣтимъ, что они отражаются подъ тѣмъ же угломъ, подъ которымъ падаютъ на зеркало (см. также § 236).—Очень просто наблюдать отраженіе свѣта и отъ неполированныхъ, шероховатыхъ поверхностей. Направимъ солнечные лучи на листъ бѣлой бумаги и будемъ держать его противъ темнаго угла комнаты: мы увидимъ, что стѣны освѣтятся отброшеннымъ отъ бумаги свѣтомъ. Въ ясный зимній день на снѣгъ, освѣщенный солн-

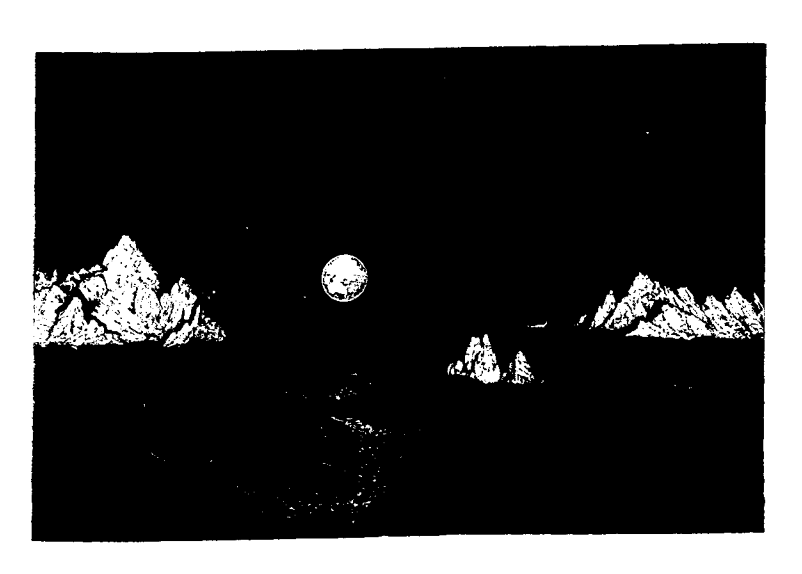
[1] Сюда же относятся звѣзды (не планеты). Это—солнца, которыя только вслѣдствіе огромнаго разстоянія отъ насъ кажутся намъ свѣтлыми точками и посылаютъ на землю едва уловимыя количества тепла.

цемъ, иногда бываетъ больно смотрѣть: такъ много свѣта отражается снѣгомъ.—Можно убѣдиться, что и поверхности темноцвѣтныя и даже черныя отражаютъ свѣтъ. Темнымъ или чернымъ мы называемъ предметъ тогда, когда онъ посылаетъ нашему глазу гораздо меньше отраженнаго свѣта, чѣмъ окружающія тѣла. Но если ночью сильно освѣтить черную доску такъ, чтобы окружающее ее пространство оставалось въ темнотѣ, то она покажется намъ бѣлою. Черный бархатъ, освѣщенный солнцемъ, какъ показываютъ опыты, посылаетъ нашему глазу больше отраженнаго свѣта, чѣмъ снѣгъ, освѣщенный полною луною.—Луна и планеты, сами по себѣ тѣла темныя, вслѣдствіе отраженія ими солнечнаго свѣта становятся свѣтящими.—Свѣтъ отражается также отъ носящихся въ воздухѣ пылинокъ и мельчайшихъ водяныхъ частичекъ (тумана). Отсюда тѣ свѣтлыя полосы, которыя обыкновенно видны въ пыльномъ воздухѣ комнаты, когда въ окна падаетъ солнечный свѣтъ. Полосы эти исчезаютъ, если надлежащими мѣрами совершенно освободить воздухъ отъ пыли. Отраженіе свѣта отъ частичекъ тумана наблюдается нами на каждомъ облакѣ: въ ясный день отраженный имъ свѣтъ слѣпитъ глаза. Свѣтлыя прямыя полосы, которыя вырываются иногда изъ облаковъ, когда солнце бываетъ близъ горизонта,—также слѣдствіе отраженія: солнечный свѣтъ, проникающій сквозь отверстія въ облакахъ, отражается отъ другихъ облачныхъ и туманныхъ массъ, которыя встрѣчаетъ на своемъ пути. Наконецъ и атмосферный воздухъ способенъ въ большей или меньшей степени отражать свѣтъ, и это причина, почему мы „видимъ“ надъ собою небо: не будь у земли атмосферы, пространство надъ нами казалось бы совершенно чернымъ. (См. на рис. 169 воображаемый пейзажъ на поверхности луны, гдѣ надо предполагать атмосферу—если она вообще тамъ есть—въ состояніи чрезвычайнаго разрѣженія).

Благодаря тому, что всѣ окружающіе насъ тѣла болѣе или менѣе отражаютъ свѣтъ, мы именно можемъ видѣть предметы, когда они въ достаточной степени освѣщены. Въ самомъ дѣлѣ, если предметъ—не самостоятельный источникъ свѣта, то отъ него должно однако исходить нѣчто способное возбуждать нашъ органъ зрѣнія, чтобы мы могли получить зрительное впечатлѣніе.

Вслѣдствіе отраженія солнечнаго свѣта отъ всѣхъ окружающихъ насъ тѣлъ, отъ облаковъ, отъ воздуха, глазъ нашъ днемъ постоянно возбуждается, куда бы мы ни взглянули, и намъ кажется, что все окружающее пространство какъ бы наполнено свѣтомъ. Этотъ разсѣянный дневной свѣтъ проникаетъ сквозь щели въ самыя глухія помѣщенія и позволяетъ намъ видѣть въ нихъ предметы, когда глазъ нѣсколько привыкнетъ къ кажущейся „темнотѣ“.

Въ нашей обычной обстановкѣ встрѣтится вообще лишь мало случаевъ, когда можно утверждать, что мы находимся



169. Воображаемая картина мѣстности на поверхности луны передъ наступленіемъ или окончаніемъ тамъ ночи. Вершины горъ освѣщены солнцемъ; свѣтъ и тѣнь рѣзко разграничены. На совершенно черномъ небѣ—большой свѣтлый дискъ нашей земли.

въ совершенной темнотѣ, т. е. въ полномъ отсутствіи свѣта. При этомъ условіи зрѣніе невозможно; но нѣкоторыя животныя, напр. кошки, ночныя птицы и пр., еще хорошо видятъ при томъ слабомъ освѣщеніи, которое для насъ является почти полною „темнотою“.

264*. Всякій знаетъ, что свѣтъ легко проникаетъ сквозь нѣкоторые предметы, а другими задерживается, иначе говоря, что тѣла бываютъ прозрачныя и непрозрачныя. Но наши привычныя понятія о прозрачности и непро-

зрачности должны значительно измѣниться въ виду того, чему учитъ опытъ. Во-1) способность тѣлъ пропускать свѣтъ очень различна и зависитъ, какъ каждому извѣстно, не только отъ матерьяла, изъ котораго состоитъ тѣло, но и отъ его толщины. Стекло напр. пропускаетъ тѣмъ меньше свѣта, чѣмъ оно толще. Морская вода, одно изъ самыхъ прозрачныхъ веществъ, пропускаетъ солнечный свѣтъ лишь на глубину нѣсколькихъ сотъ саженъ; на большихъ морскихъ глубинахъ господствуетъ полный мракъ. Атмосферный воздухъ тоже не можетъ считаться совершенно прозрачнымъ: очертанія весьма отдаленныхъ предметовъ, даже при самомъ чистомъ воздухѣ, видны менѣе отчетливо, чѣмъ вблизи,— подернуты, какъ говорятъ, синеватой „дымкой" („воздухъ" на пейзажахъ художниковъ). Въ дѣйствительности нѣтъ веществъ совершенно прозрачныхъ, т. е. такихъ, которыя не задерживали бы, не поглощали бы хотя нѣкоторой части свѣта на его пути. Съ другой стороны, непрозрачность тѣла тоже очень различна и также связана съ толщиною. Дерево, вообще считающееся непрозрачнымъ, въ тонкомъ слоѣ (въ стружкахъ) просвѣчиваетъ. Доказано, что солнечный свѣтъ замѣтнымъ образомъ проникаетъ сквозь всю толщу нашего тѣла (а просвѣчиваніе пальцевъ на сильномъ свѣту каждый можетъ наблюдать самъ). Изъ золота, серебра и нѣкоторыхъ другихъ металловъ удается изготовлять пленки настолько тонкія, что сквозь нихъ хорошо видны очертанія предметовъ. Нѣтъ веществъ совершенно непрозрачныхъ, непроницаемыхъ для свѣта: свѣтъ всегда проникаетъ на нѣкоторую — хотя весьма малую — глубину, падая на такъ называемые непрозрачные предметы.

Въ окончательномъ выводѣ, вмѣсто дѣленія тѣлъ на прозрачныя и непрозрачныя, какъ видимъ, довольно условнаго, слѣдуетъ сказать, что тѣла очень различаются между собою по степени прозрачности. Однакоже выраженіями „прозрачный" и „непрозрачный" въ обыденномъ смыслѣ слова мы часто будемъ пользоваться ниже, въ видахъ сокращенія рѣчи.

265. То пространство, въ которомъ свѣтъ распространяется, по отношенію къ свѣту называется средою или срединою. Среда называется „однородною", когда ея свойства одинаковы въ любой ея части. Такой средой былъ бы напр. воздухъ, если бы онъ всюду имѣлъ одну и ту же температуру, одинаковую плотность, одинаковое содержаніе водяныхъ паровъ и пр. Однородною средою была бы и вода опредѣленныхъ свойствъ и всюду одинаковой температуры. И т. п. Конечно однородную во всей строгости среду мы можемъ себѣ лишь представить; но многія изъ окружающихъ насъ тѣлъ (въ томъ числѣ и воздухъ), при надлежащихъ условіяхъ, въ достаточной мѣрѣ удовлетворяютъ названнымъ требованіямъ.

Средою по отношенію къ свѣту конечно будетъ всякое прозрачное тѣло, а при достаточно малой толщинѣ и всякое „непрозрачное". Но, вопреки тому, что́ мы знаемъ о звукѣ, средою по отношенію къ свѣту можетъ быть и такъ называемая „пустота", т. е. пространство, освобожденное — насколько возможно — отъ всякихъ извѣстныхъ намъ газовъ. Свѣтъ именно распространяется чрезъ „пустоту", производимую наиболѣе совершенными воздушными насосами. Пространство въ 140 милліоновъ верстъ между землею и солнцемъ, чрезъ которое солнце насъ освѣщаетъ и согрѣваетъ, тоже не наполнено ничѣмъ, кромѣ развѣ чрезвычайно разрѣженныхъ газовъ. Такова же вообще среда междупланетнаго и междузвѣзднаго пространства. Въ „пустотѣ" свѣтъ распространяется даже свободнѣе, чѣмъ въ самыхъ прозрачныхъ веществахъ, ибо послѣднія всегда задерживаютъ, поглощаютъ часть лучей (напр. часть солнечнаго свѣта и тепла поглощается земной атмосферою). Такимъ образомъ передатчикомъ свѣта не можетъ быть ни воздухъ, ни вообще какое-либо изъ извѣстныхъ намъ до сихъ поръ тѣлъ Но физика не мирится съ мыслью, чтобы свѣтъ и тепло могли распространяться чрезъ пространство, въ которомъ ничего нѣтъ: она не допускаетъ совершенной, абсолютной пустоты. По весьма распространенному въ наукѣ взгляду, міровое пространство наполнено веществомъ чрезвычайно малой плотности, которое проникаетъ собою и всѣ тѣла: оно называется міровымъ эфиромъ. Его-то и считаютъ посредникомъ между источниками свѣта и освѣщаемыми предметами, напр. нашимъ глазомъ. Полагаютъ, что частички свѣтящагося тѣла находятся въ состояніи необычайно быстрыхъ колебаній, которыя сообщаются эфиру и передаются

имъ во всѣ стороны путемъ волнообразнаго движенія [1].

Скорость свѣта въ міровомъ пространствѣ.

266. Припомнимъ, что главная особенность волнообразнаго движенія состоитъ въ передачѣ колебаній отъ одной частицы среды къ другой, — передачѣ, которая не совершается мгновенно, такъ что самое распространеніе волнъ требуетъ времени. Опытъ показываетъ, что и свѣтъ распространяется не мгновенно. Но наши земныя разстоянія, на которыя еще хватаетъ глазъ, слишкомъ малы, чтобы можно было какими-нибудь простыми способами замѣтить „запаздываніе“ свѣта сравнительно съ моментомъ его возникновенія на мѣстѣ, — что столь легко достигается по отношенію къ звуковымъ волнамъ въ воздухѣ. Такое запаздываніе впервые было замѣчено на гораздо бо̀льшихъ междупланетныхъ разстояніяхъ, при нѣкоторыхъ астрономическихъ наблюденіяхъ. Оказалось именно, что поперечникъ годового пути земли вокругъ солнца (т. наз. земной орбиты), который равняется 280 милліонамъ верстъ, свѣтъ проходитъ почти ровно въ 16 минутъ 40 сек., или 1000 секундъ: это составляетъ 280000 верстъ въ секунду. Слѣдовательно въ теченіе одной секунды свѣтъ могъ бы обойти $7^1/_2$ разъ вокругъ земли, а громадное разстояніе, отдѣляющее насъ отъ солнца (т. е. половину упомянутаго выше поперечника земной орбиты), онъ пробѣгаетъ въ 8 съ небольшимъ минутъ [2]. И

[1] Вопросъ объ эфирѣ и его свойствахъ относится къ числу интереснѣйшихъ, но вмѣстѣ съ тѣмъ и труднѣйшихъ вопросовъ современной физики. Несомнѣнно, что въ веществѣ свѣтящагося тѣла происходятъ нѣкоторыя (чрезвычайно быстрыя) колебанія; также несомнѣнно, что колебанія распространяются въ пространствѣ волнообразно съ огромною скоростью—притомъ не чрезъ посредство извѣстныхъ намъ газообразныхъ, жидкихъ или твердыхъ веществъ, а инымъ путемъ. Но самыя свойства эфира остаются еще недостаточно выясненными, чтобы позволительно было вдаваться здѣсь въ какія либо подробности.

[2] Для сравненія любопытно отмѣтить, что ядро дальнобойнаго орудія, съ тою скоростью, какую оно имѣетъ при вылетѣ, прошло бы разстояніе до солнца въ 5 лѣтъ, а курьерскій поѣздъ, дѣлая безостановочно по 1500 верстъ въ сутки,—лишь въ 250 лѣтъ!

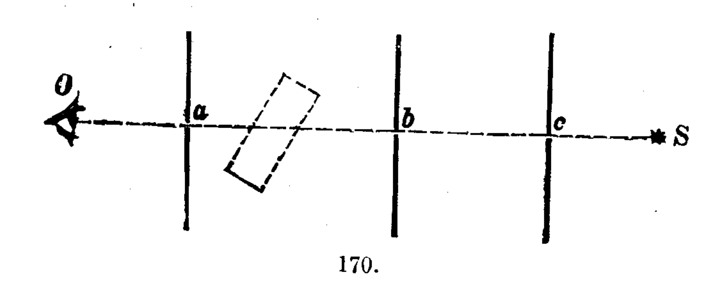
тѣмъ не менѣе утонченныя средства современныхъ научныхъ наблюденій даютъ возможность измѣрить время, въ теченіе котораго свѣтъ проходитъ путь въ нѣсколько верстъ или даже пространство физической лабораторіи, и такимъ образомъ провѣрить выводъ, добытый астрономическими опредѣленіями.

267*. Сто́итъ обратить вниманіе на одно интересное слѣдствіе, вытекающее изъ того, что распространеніе свѣта требуетъ времени. Отъ солнца свѣтъ доходитъ до насъ, какъ только что сказано, въ 8 слишкомъ минутъ. Слѣдовательно, если бы произошло напр. вдругъ значительное ослабленіе или усиленіе солнечнаго свѣта,—отъ какихъ-либо причинъ на самомъ солнцѣ, — то мы замѣтили бы его не тотчасъ же, а чрезъ 8 минутъ. Но разстоя́ніе отъ земли до солнца совершенно ничтожно сравнительно съ разстояніями, отдѣляющими насъ отъ тѣлъ звѣзднаго міра—отъ другихъ солнцъ, подобныхъ нашему: звѣзды, еще сравнительно близкія къ намъ, въ сотни тысячъ и милліоны разъ дальше солнца. Отъ ближайшей къ намъ звѣзды свѣтъ доходитъ до насъ только въ четыре года; отъ очень немногихъ другихъ, тоже сравнительно близкихъ,—въ десятки лѣтъ; отъ огромнаго же большинства звѣздъ, которыя мы еще можемъ видѣть простымъ глазомъ на небѣ, свѣтъ достигаетъ до насъ вѣроятно въ сотни лѣтъ. Что же сказать о томъ множествѣ звѣздъ, которыя по дальности разстоянія видимы только въ сильнѣйшія астрономическія трубы? Время, въ теченіе котораго ихъ свѣтъ можетъ дойти до нашего глаза, должно считаться тысячелѣтіями! Слѣдовательно тѣ явленія, которыя нынѣ наблюдаются астрономами въ безднахъ звѣзднаго міра, въ дѣйствительности относятся большею частью къ давно минувшимъ временамъ. Вотъ любопытный примѣръ. Въ февралѣ 1901 года въ созвѣздіи Персея внезапно вспыхнула „новая“ звѣзда (появленіе такихъ звѣздъ случалось и раньше), привлекшая все вниманіе не только ученыхъ, но и образованнаго общества. Просіявъ нѣсколько дней, она начала постепенно угасать; но за представляемыми ею интересными явленіями еще долго слѣдило много вооруженныхъ наблюдателей. Это произошло, какъ говорится, „на нашихъ глазахъ“. И однако въ дѣйствительности все это случилось гораздо раньше; нельзя даже приблизительно сказать, когда

именно (быть можетъ больше вѣка тому назадъ), такъ какъ разстояніе временно засвѣтившейся звѣзды намъ не извѣстно.—Общій неизбѣжный выводъ отсюда тотъ, что видимый нынѣ звѣздный міръ представляетъ намъ въ сущности картину болѣе или менѣе отдаленнаго прошлаго.

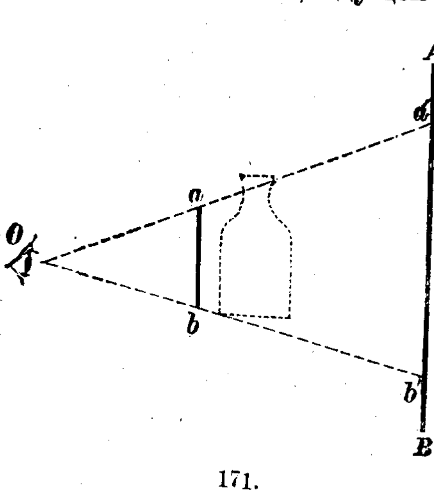
Свѣтовые пучки и лучи.

268. Въ однородной средѣ свѣтъ распространяется отъ свѣтящейся точки во всѣ стороны по прямымъ линіямъ. Это слѣдуетъ изъ множества явленій, къ кото-



170.

рымъ мы настолько привыкли, что не задаемся вопросомъ объ ихъ причинѣ. Когда мы хотимъ видѣть свѣтлую точку сквозь маленькое отверстіе, мы помѣщаемъ глазъ по направленію прямой линіи, идущей отъ этой точки къ отверстію. Если бы на пути свѣта было нѣсколько малыхъ отверстій (*a*, *b*, *c*, рис. 170), то всѣ они должны были бы находиться на одной прямой, чтобы мы могли видѣть точку *S*. Положимъ еще, что мы смотримъ на предметъ *AB* (рис. 171), частью заслоняемый другимъ (*ab*): тогда граница между видимой и невидимой частями перваго опредѣлится про-

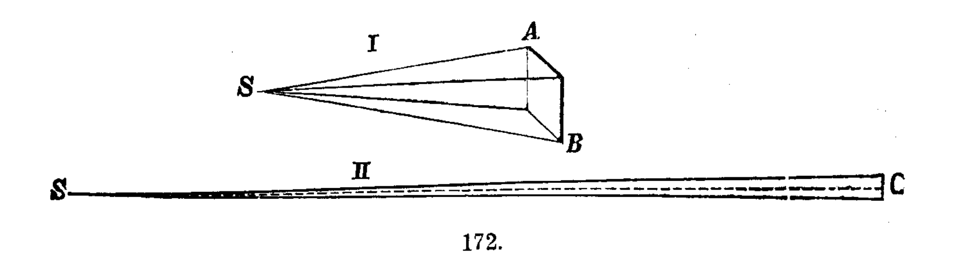


171.

долженіемъ прямыхъ линій, проведенныхъ отъ нашего глаза къ краямъ заслоняющаго предмета. И т. п.

Эти хорошо намъ знакомыя явленія могутъ однако значительно измѣниться, если свѣтъ на пути своемъ встрѣчаетъ другую прозрачную средину. Напр., если между отверстіями *a* и *b* или *b* и *c* (рис. 170) помѣстимъ кусокъ толстаго зеркальнаго стекла, держа его наклонно къ прямой *abc*, то можемъ и не увидѣть свѣтлой точки *S*, потому что свѣтъ измѣняетъ свое направленіе при переходѣ изъ воздуха въ кусокъ стекла и изъ послѣдняго снова въ воздухъ. Или, если поставимъ склянку съ водою между предметомъ *AB* и заслоняющимъ его *ab* (рис. 171), то можемъ увидѣть сквозь воду такія части перваго, которыя прежде не были видимы. Припомнимъ также, какъ измѣняются—часто искажаются — очертанія предметовъ, разсматриваемыхъ сквозь графинъ или бутылку съ водою, сквозь различныя стеклянныя вещи и даже сквозь обыкновенное оконное стекло. Всѣ подобныя явленія—слѣдствія того, что свѣтъ попадаетъ въ глазъ не по тѣмъ направленіямъ, по которымъ достигалъ бы его, если бы шелъ отъ предмета въ средѣ однородной (или приблизительно однородной, каковъ обыкновенный воздухъ).

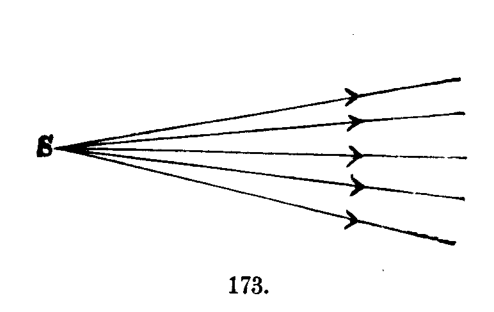
269. Представимъ себѣ теперь свѣтящую точку *S*, окруженную однородной средою, и гдѣ-либо площадку *AB* (рис. 172 I). Чтобы опредѣлить, какая доля свѣта точки *S*



172.

упадетъ на площадку, мы должны будемъ провести прямыя линіи отъ *S* къ краямъ нашей площадки; мы получимъ какъ бы (расширяющійся) каналъ, внутри котораго происходитъ передача свѣта отъ точки *S* къ площадкѣ *AB*; свѣтъ, идущій внѣ этого канала, минуетъ ее. Ограниченную такимъ образомъ долю свѣта точки *S* называютъ свѣтовымъ

пучкомъ; самая же точка S будетъ его вершиною. Свѣтовой пучекъ чрезвычайно тонкій, напр. падающій на очень маленькую или очень отдаленную площадку, мы назовемъ лучемъ. На чертежахъ мы будемъ изображать лучъ прямой линіей (SC на рис. 172 II), которая называется въ этомъ случаѣ геометрическимъ лучемъ. Замѣняя физическіе лучи геометрическими, иногда удобно бываетъ изображать свѣтовой пучекъ нѣсколькими прямыми линіями (рис. 173), изъ чего однако никоимъ образомъ не слѣдуетъ, чтобы самый пучекъ свѣта „состоялъ“ изъ прямыхъ линій.



173.

Такимъ образомъ слово „лучъ“ имѣетъ для насъ здѣсь совсѣмъ иной смыслъ, нежели тотъ, который ему придается обыкновенно. Что мы чаще всего называемъ лучами въ повседневной жизни? Мы называемъ такъ или параллельныя свѣтлыя полосы, пронизывающія пространство комнаты, когда въ окна свѣтитъ солнце; или тѣ снопы свѣта, которые нерѣдко вырываются изъ облаковъ у горизонта передъ солнечнымъ закатомъ; или же наконецъ пучки свѣтлыхъ нитей, расходящихся какъ бы паутиной отъ яркаго предмета, особенно если смотрѣть на него, прищуривъ глаза. Но въ физикѣ ни то, ни другое, ни третье не называютъ лучами. Первыя два явленія, какъ мы уже знаемъ, происходятъ вслѣдствіе отраженія свѣта отъ пыли или частичекъ тумана въ воздухѣ; они исчезаютъ безслѣдно, если воздухъ будетъ освобожденъ отъ частичекъ, которыя могли бы посылать отраженный свѣтъ къ нашему глазу. То, что мы здѣсь видимъ, въ сущности не отличается отъ свѣтлаго слѣда на полу или потолкѣ, когда свѣтъ падаетъ на нихъ сквозь дверную щель. Что же касается тонкихъ свѣтлыхъ нитей, которыя мы видимъ, смотря прищурившись на яркій предметъ, то онѣ пропадаютъ, какъ только мы заслонимъ предметъ отъ

глаза напр. пальцемъ: слѣдов. это вовсе не есть что либо исходящее отъ предмета въ стороны.

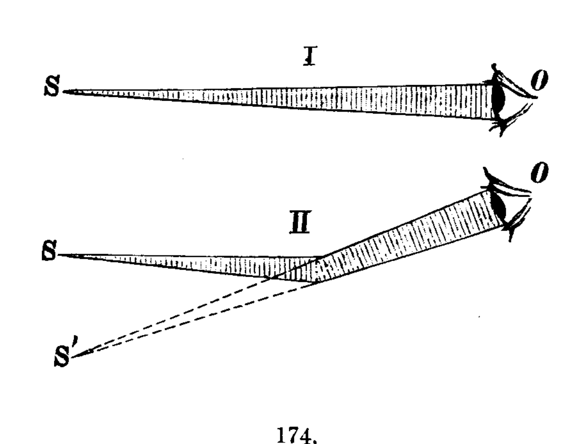
270. Надо освоиться съ мыслью, что свѣтовые пучки сами по себѣ невидимы, а становятся видимыми тогда, когда встрѣчаютъ на своемъ пути напр. что либо могущее отражать свѣтъ къ нашему глазу. Мы видимъ не лучи, а освѣщаемыя на ихъ пути тѣла,—видимъ, такъ сказать, лишь слѣдъ свѣтового пучка [1]. Пространство, въ которомъ нѣтъ ничего, что могло бы посылать свѣтъ къ нашему глазу, являлось бы для насъ совершенно чернымъ, хотя бы пронизывалось лучами сильныхъ источниковъ свѣта. Таково напр. междузвѣздное пространство, по которому движется наша земля. Не смотря на множество солнцъ (среди которыхъ наше по размѣрамъ и свѣтимости далеко не занимаетъ перваго мѣста), въ міровомъ пространствѣ господствуетъ вѣчная ночь. Атмосфера, окружающая землю, посылаетъ намъ днемъ разсѣянный солнечный свѣтъ и скрываетъ тогда отъ насъ темную бездну междузвѣзднаго пространства. Но уже воздухоплаватели, подымавшіеся достаточно высоко, свидѣтельствуютъ, что видѣли надъ собою почти черное небо, на которомъ блистало ослѣпительно яркое солнце.

271. Когда свѣтовой пучекъ падаетъ прямо въ глазъ, мы опять-таки видимъ не самый пучекъ, а ту точку, которая его испускаетъ, или же ту, отъ которой онъ кажется исходящимъ. Послѣднее такъ тѣсно связано съ вопросомъ: какъ мы видимъ?, что требуетъ отдѣльнаго поясненія.

Глазъ нашъ находится подъ впечатлѣніемъ свѣтовыхъ пучковъ, падающихъ на него отъ отдѣльныхъ точекъ предмета. Конечно все равно, идутъ ли лучи отъ самосвѣтящагося источника, или отъ точекъ какой либо освѣщенной поверхности: каждая точка послѣдней посылаетъ глазу пу-

[1] Такими свѣтовыми слѣдами очень удобно пользоваться для наблюденія хода лучей при опытахъ. Пропустивъ свѣтъ сквозь узкую щель, даютъ ему падать вскользь на бѣлую бумагу: получается свѣтлая полоска, какъ бы вычерченная свѣтовымъ пучкомъ (такія полоски всякій видѣлъ на полу и потолкѣ, когда свѣтъ попадаетъ въ комнату чрезъ дверную щель). Или пропускаютъ свѣтъ изъ отверстія чрезъ задымленный воздухъ. И т. п.

чекъ заимствованныхъ, отраженныхъ лучей. Если свѣтъ точки S достигаетъ глаза O по однородной средѣ, т. е. прямолинейно, то самая точка S будетъ находиться въ вершинѣ падающаго на глазъ свѣтового пучка (рис. 174 I) [1]. Но пусть пучекъ, прежде чѣмъ упасть на глазъ, измѣнилъ свое направленіе, напр. вслѣдствіе перехода изъ одной среды въ другую. Теперь свѣтовой пучекъ войдетъ въ глазъ такъ, какъ будто бы его вершина находилась въ S'. Онъ произведетъ на глазъ точно такое впечатлѣніе, какъ если бы шелъ изъ точки S', и мы увидимъ точку S не въ ея дѣйствительномъ мѣстѣ, а въ S' (рис. 174 II). Говоря правильнѣе, мы видимъ уже не самую точку S, а ея оптическое изображеніе S'. Такъ объясняются зрительные или оптическіе обманы, вслѣдствіе которыхъ мы видимъ источникъ свѣта или освѣщенный предметъ не въ его настоящемъ мѣстѣ, когда лучи на своемъ пути къ глазу измѣнили направленіе; многочисленные примѣры явленій этого рода мы встрѣтимъ ниже. Дѣло именно въ томъ, что точка всегда кажется намъ въ вершинѣ свѣтового пучка, непосредственно входящаго въ нашъ глазъ.

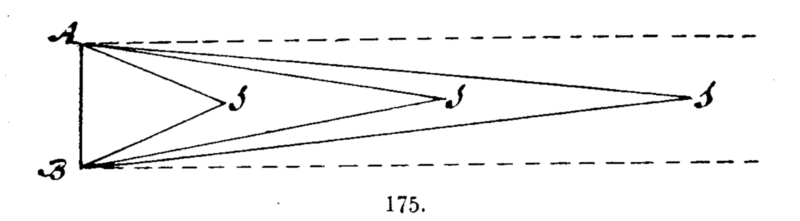


174.

272*. Чѣмъ дальше свѣтящая точка отъ освѣщаемаго ею предмета, тѣмъ конечно меньше уголъ расхожденія пучка (уголъ ASB на рис. 175) и тѣмъ ближе краевыя направленія (AS, BS) къ параллельности. При достаточно большомъ удаленіи точки, можно безъ замѣтной ошибки считать падающій на AB пучекъ ограниченнымъ параллельными прямыми [1].

[1] Ширина пучка конечно опредѣляется отверстіемъ зрачка, чрезъ которое свѣтъ входитъ внутрь глаза (что не соблюдено на рисункѣ).

Таковъ напр. свѣтовой пучекъ, падающій на нашу землю отъ любой звѣзды или — съ меньшею степенью приближенія—отъ точки, взятой на поверхности солнца. Слѣдъ солнечнаго свѣта въ пыльномъ воздухѣ комнаты тоже



175.

кажется намъ ограниченнымъ параллельными прямыми. Параллельный свѣтовой пучекъ или „параллельные лучи“ можно получить и искусственно, какъ увидимъ ниже.

273. Тепловое дѣйствіе лучей. Солнце не только свѣтитъ, но и грѣетъ. То же можно сказать и о другихъ раскаленныхъ источникахъ свѣта. Куча раскаленныхъ углей, костеръ и т. п. даютъ ощущеніе тепла уже на значительномъ разстояніи. Отъ этого теплового дѣйствія мы можемъ чѣмъ либо „заслонить“ поверхность нашей кожи, какъ защищаемся зонтомъ отъ солнечнаго тепла; отсюда видно, что тепловое дѣйствіе сообщается нашему тѣлу не чрезъ посредство воздуха, который самъ по себѣ можетъ даже оставаться холоднымъ (стòитъ лишь вспомнить ощущеніе жара отъ костра на морозномъ воздухѣ). „Свѣтовой“ лучъ солнца и всякаго другого раскаленнаго источника есть вмѣстѣ съ тѣмъ и „тепловой“. Можно примѣнить любое изъ двухъ названій—смотря по тѣмъ дѣйствіямъ лучей, которыя именно разсматриваются. Изъ нихъ свѣтовыя, въ зависимости отъ свойствъ нашего органа зрѣнія, прослѣживаются легче и большею частью точнѣе всякихъ другихъ.

274. Сдѣлаемъ теперь краткій перечень важнѣйшихъ явленій, которыя обыкновенно происходятъ на пути, проходимомъ лучами. Для примѣра положимъ, что солнечные лучи, распространяясь въ комнатномъ воздухѣ, попадаютъ на кусокъ стекла. 1) Въ комнатѣ лучи идутъ прямолинейно,

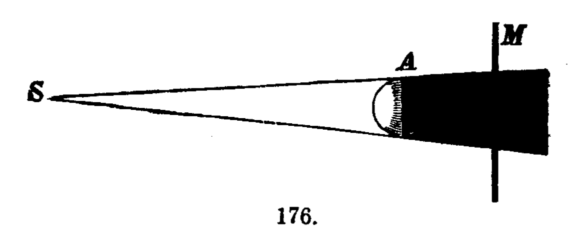
[1] Подобно тому, какъ мы считаемъ параллельными два близкихъ между собою отвѣса на земной поверхности.

что можно прослѣдить, какъ мы знаемъ, по освѣщеннымъ ими пылинкамъ или напр. частичкамъ табачнаго дыма. 2) При паденіи на стекло часть свѣта отбрасывается, отражается, обратно въ воздухъ. 3) Вошедшіе въ стекло свѣтовые лучи идутъ въ немъ по другому направленію — преломляются при переходѣ изъ воздуха въ стекло (если только падаютъ не перпендикулярно къ его поверхности). 4) Изъ проникшаго въ стекло свѣта только часть проходитъ насквозь: бóльшая или меньшая доля его задерживается, поглощается стекломъ, и насчетъ этой исчезнувшей для глаза части лучей стекло болѣе или менѣе нагрѣвается (то же, но въ гораздо меньшей степени, происходитъ и при распространеніи лучей въ воздухѣ). 5) Наконецъ, выходя изъ стекла въ воздухъ, свѣтовые лучи преломляются еще разъ. На ряду съ поименованными явленіями происходятъ и другія, которыя можно замѣтить при надлежащихъ условіяхъ. Такъ 6) если пропустимъ солнечные лучи сквозь трехгранный кусокъ стекла (трехгранную стеклянную „призму“, граненый подвѣсокъ люстры и т. п.), то увидимъ на стѣнѣ или бумагѣ по ту сторону стекла полоску цвѣтовъ, напоминающихъ цвѣта радуги.

Въ сдѣланномъ нами перечнѣ содержатся почти всѣ тѣ свѣтовыя явленія, которыя мы будемъ подробнѣе разсматривать въ нѣсколькихъ главахъ о свѣтѣ.

Еще нѣкоторыя явленія прямолинейнаго распространенія свѣта.

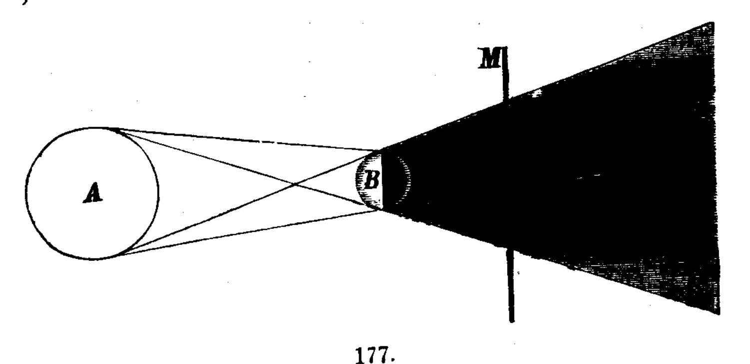
275*. Тѣнь полная и неполная. Прямолинейность лучей въ однородной средѣ даетъ намъ средство опредѣлять, очерчивать, границы того, что называютъ тѣнью непрозрачнаго предмета. Пусть напр. свѣтъ точки *S* заслоняется шаромъ *A* (рис. 176). Проведя отъ *S* прямыя линіи „касательно“ къ поверхности шара, мы ограничимъ за нимъ то пространство, въ которое совсѣмъ не попадутъ лучи точки *S*: это и будетъ тѣнь шара *A*; на экранѣ



176.

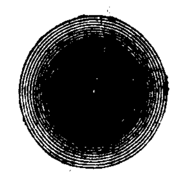
же *M*, смотря по его положенію относительно лучей, мы можемъ получить тѣневой контуръ разной величины и формы (круга или „эллипса“). Если заслоняющій предметъ имѣетъ какую-либо иную форму, то мы всегда болѣе или менѣе точно опредѣлимъ границы его тѣни, представивъ себѣ достаточное число проведенныхъ къ предмету краевыхъ прямыхъ линій.

Въ дѣйствительности однако явленіе обыкновенно бываетъ сложнѣе. Всѣ наши обычные источники свѣта—не точки, а свѣтящія тѣла. Чертежъ, который былъ сдѣланъ



177.

для одной точки *S* (рис. 176), пришлось бы повторить для каждой точки свѣтящаго предмета. Положимъ напр., что лучи отъ большого свѣтящаго шара *A* падаютъ на меньшій, непрозрачный *B* (рис. 177). Проведя прямыя линіи отъ поверхности перваго касательно къ заслоняющему шару, какъ показываетъ рисунокъ, мы отграничимъ за нимъ 1) пространство, въ которое совсѣмъ не попадетъ свѣта отъ источника — полную тѣнь, 2) такія части, къ которымъ свѣтъ имѣетъ доступъ— въ тѣмъ большемъ количествѣ, чѣмъ дальше въ сторону отъ полной тѣни; эти части пространства будутъ неполною тѣнью или полутѣнями предмета. На экранѣ *M* тѣнь имѣла бы видъ, представленный отдѣльно на рис. 178.

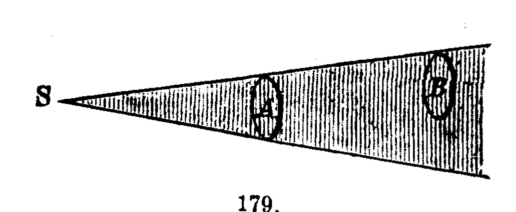


178.

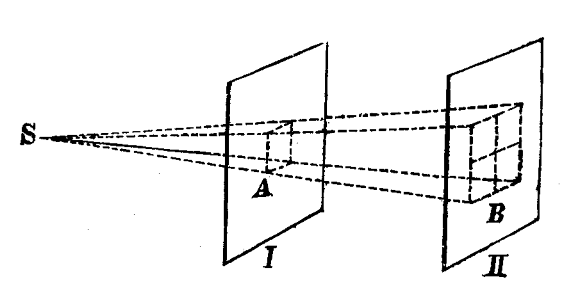
Полутѣни можно наблюдать вокругъ всякой тѣни на стѣнахъ комнаты, освѣщаемой свѣчею, лампою, а также отъ предметовъ, освѣщенныхъ солнцемъ или луною. (Переходъ отъ полной тѣни чрезъ полутѣни къ свѣту обыкно-

венно усложняется постороннимъ отраженнымъ свѣтомъ). Если поверхность свѣтящаго предмета мала, то полутѣни незначительны, и тѣнь бываетъ „рѣзкая“ (случай ближе подходящій къ рис. 176). Таковы напр. тѣни предметовъ при свѣтѣ нѣкоторыхъ сильныхъ электрическихъ лампъ.

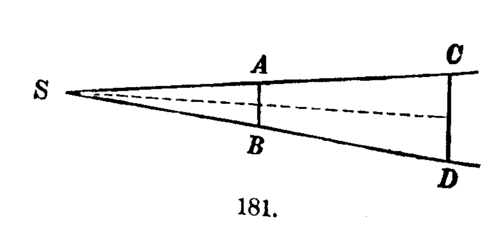
276*. Измѣненіе степени освѣщенія съ разстояніемъ. Извѣстно, какъ быстро ослабляется освѣщеніе бумаги, книги, если удалять ихъ отъ пламени свѣчи. Прямолинейность лучей не только объясняетъ намъ это явленіе, но даетъ возможность найти и его законъ. Представимъ себѣ свѣтовой пучекъ отъ точки S и на его пути двѣ площадки одинаковой величины (A, B), но въ разныхъ разстояніяхъ отъ S (рис. 179). Очевидно, что часть того свѣта, которымъ освѣщается ближайшая площадка A, пройдетъ мимо болѣе удаленной, B, а потому послѣдняя будетъ и слабѣе освѣщена. Если пропустимъ свѣтовой пучекъ чрезъ квадратное отверстіе A (рис. 180), то на кускѣ картона, поставленномъ дальше отъ S, этотъ пучекъ охватитъ собою бо́льшій квадратъ B; слѣдовательно на площадку той же величины, какъ A, придется теперь меньше свѣта: освѣщеніе будетъ слабѣе, чѣмъ было бы въ A. Легко видѣть, что если экранъ II вдвое дальше отъ свѣтящейся точки, нежели I, то квадратъ B, освѣщае-



179.



180.



181.

мый тѣмъ же самымъ пучкомъ, какъ и A, будетъ вчетверо больше, слѣдов. онъ будетъ освѣщенъ въ четыре раза слабѣе, чѣмъ A. Это поясняется еще упрощеннымъ рис. 181, на которомъ AB и CD— ребра двухъ квадратовъ, освѣщаемыхъ однимъ и тѣмъ же пучкомъ. Ясно, что прямая CD, находясь отъ S на двойномъ разстояніи, вдвое больше AB; но квадратъ, котораго ребро вдвое больше, имѣетъ вчетверо бо́льшую площадь. Точно такъ же найдемъ, что на тройномъ разстояніи тотъ же самый пучекъ освѣтитъ поверхность въ девять разъ бо́льшую; слѣдов. степень освѣщенія уменьшится въ 9 разъ. И т. д. Это можно обобщить слѣдующимъ образомъ:

Если разстояніе площадки отъ свѣтящей точки
увеличится въ 2, 3, 4, 5,... разъ, то степень освѣщенія
уменьшится „ 4, 9, 16, 25,... разъ.

Числа второго ряда, какъ извѣстно, называются квадратами чиселъ перваго ряда. Поэтому можно сказать, что степень освѣщенія площадки лучами, испускаемыми свѣтящею точкою, находится въ обратномъ отношеніи къ квадрату разстоянія площадки отъ свѣтящей точки.

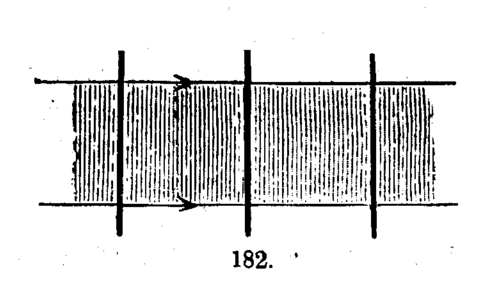
277. Законъ этотъ, выведенный для лучей, расходящихся изъ одной точки, нельзя безъ ограниченій примѣнять къ случаю освѣщенія предметовъ свѣтящими тѣлами, которыя посылаютъ свѣтъ изъ безчисленнаго множества точекъ. Такъ напр. освѣщеніе какого-нибудь рисунка лампою на двухдюймовомъ разстояніи отъ пламени не будетъ вчетверо слабѣе, нежели на разстояніи одного дюйма, а лишь немного слабѣе. Лицо наше, освѣщаемое пламенемъ костра, на разстояніи аршина будетъ казаться только немногимъ свѣтлѣе, чѣмъ на двухаршинномъ разстояніи. То же самое относится до освѣщенія разсѣяннымъ дневнымъ свѣтомъ, проникающимъ въ комнату чрезъ окно.

Для примѣра вотъ результаты ряда наблюденій надъ освѣщеніемъ вертикальнаго листа бумаги. Если освѣщеніе его на разстояніи равномъ ширинѣ окна принять за 1, то на двойномъ разстояніи освѣщеніе было около $^2/_5$, на тройномъ около $^1/_5$, а на четверномъ около $^1/_8$.

Только тогда, когда свѣтящій предметъ настолько удаленъ отъ освѣщаемаго имъ мѣста, что казался бы намъ

отсюда незначительныхъ размѣровъ, вышеупомянутый законъ можетъ быть прилагаемъ съ достаточнымъ приближеніемъ.

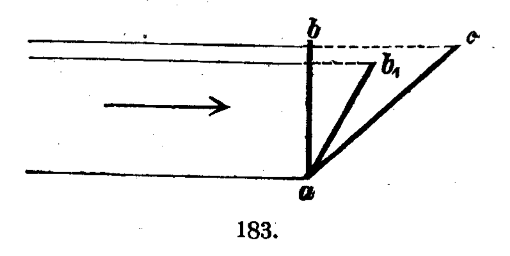
278. Разсмотримъ еще освѣщеніе, производимое параллельнымъ пучкомъ свѣта (рис. 182). Ясно, что количество свѣта, падающаго на передвигаемую параллельно самой себѣ площадку, будетъ одно и то же на всякихъ разстояніяхъ. Степень освѣщенія площадки параллельнымъ пучкомъ не зависитъ отъ разстоянія,—если конечно не считать поглощенія свѣта средою, напр. воздухомъ. Ниже мы встрѣтимся съ интересными примѣненіями искусственно производимыхъ параллельныхъ лучей для освѣщенія на значительныхъ разстояніяхъ.



182.

Конечно важное значеніе имѣетъ и наклонъ лучей къ освѣщаемой ими плоскости. Строгій выводъ упомянутаго выше закона квадратовъ предполагаетъ, что лучи перпендикулярны къ поверхности. При нашемъ выводѣ надо принимать пучекъ очень тонкимъ: тогда лучи можно считать почти перпендикулярными къ освѣщаемымъ площадкамъ (см. рисунки § 276).

279. Что степень освѣщенія должна быть связана съ наклономъ лучей, ясно изъ чертежа 183. Площадка ab_1 равная ab, но помѣщенная наклонно къ лучамъ, получаетъ меньше свѣта, потому что часть лучей минуетъ ее. Если же наклонно поставленную площадку взять такой величины (ac), чтобы она освѣщалась тѣмъ же пучкомъ, какъ перпендикулярная ab, то одинаковое количество свѣта распространится на бо́льшую поверхность.

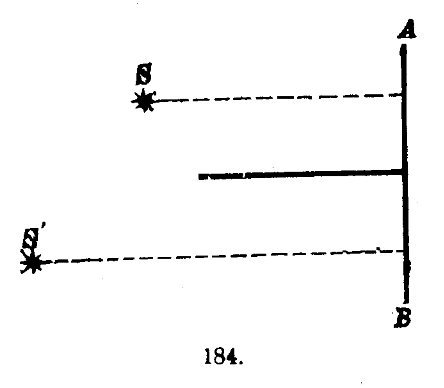


183.

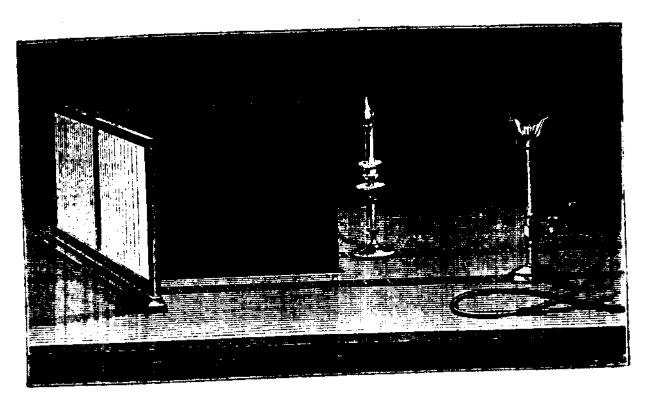
Измѣненіе наклона солнечныхъ лучей къ земной поверхности—одна изъ главныхъ причинъ большихъ различій въ нагрѣваніи ими земли въ разное время дня и въ разныя времена года.

280*. Законъ, связывающій степень освѣщенія съ разстояніемъ, позволяетъ сравнивать между собою освѣтительную способность разныхъ источниковъ свѣта.

Пусть требуется сравнить въ этомъ отношеніи напр. лампу со стеариновой свѣчею. Освѣтимъ одну половину матоваго стекла или куска бѣлаго картона AB, поставленнаго вертикально, свѣчею (S), а другую половину—лампою (S'). (См. рис. 184 и 185). Отодвигая лампу или приближая свѣчу, постараемся достичь по возможности одинаковаго освѣщенія обѣихъ половинъ. Положимъ, что лампа окажется тогда на разстояніи втрое большемъ отъ экрана, нежели свѣча. Примѣняя указанный выше законъ, мы можемъ (конечно приблизительно, такъ какъ имѣемъ дѣло не со свѣтящими точками) заключить, что если бы лампа была придвинута на то же разстояніе, какъ свѣча, т. е. втрое ближе, то она стала бы освѣщать картонъ въ 9 разъ сильнѣе. Наоборотъ: если поставить на мѣсто лампы свѣчу, т. е. отодвинуть послѣднюю



184.



185.

на тройное разстояніе, то она освѣтила бы картонъ въ 9 разъ слабѣе лампы. Итакъ освѣтительная способность нашей лампы соотвѣтствуетъ приблизительно 9 свѣчамъ. — Обобщивъ пріемъ, можно сказать, что отношеніе освѣтительной способности двухъ источниковъ (размѣры которыхъ малы сравнительно съ разстояніемъ до экрана) найдется, если умножимъ само на себя—возвысимъ въ квадратъ — численное отношеніе разстояній, на которыхъ оба источника одинаково освѣщаютъ экранъ.

Здѣсь изложена только сущность пріема. Поступая, какъ только что сказано, можно получить лишь примѣрный, грубо-приближенный результатъ, главнымъ образомъ по трудности сдѣлать правильную оцѣнку освѣщенія обѣихъ половинъ экрана — рѣшить, когда именно освѣщеніе ихъ стало одинаковымъ; ошибка можетъ быть особенно велика, когда оба источника разнаго цвѣта. Усовершенствованные въ томъ или иномъ отношеніи приборы, назначаемые для сравненія освѣтительной способности свѣтовыхъ источниковъ, называются *фотометрами* (свѣтомѣрами). Конечно очень важно имѣть и нѣкоторый по возможности постоянный источникъ, освѣтительную способность котораго можно было бы принять за 1.

261*. Вотъ нѣсколько примѣровъ, дающихъ результаты сравненій въ самыхъ общихъ чертахъ. Освѣтительная способность обыкновенныхъ столовыхъ керосиновыхъ лампъ съ круглой горѣлкой соотвѣтствуетъ 5 — 15 свѣчамъ, а большихъ висячихъ лампъ съ усиленнымъ притокомъ воздуха—50 и болѣе свѣчамъ; горящей магніевой ленты — нѣсколькимъ сотнямъ свѣчей; сильные электрическіе источники свѣта, именно такъ называемыя дуговыя лампы, примѣняемыя для освѣщенія улицъ и большихъ помѣщеній, обыкновенно замѣняютъ собою болѣе тысячи свѣчей каждый и могутъ быть доводимы до силы еще гораздо большей. Но всѣ эти источники конечно во многое множество разъ уступаютъ нашему дневному свѣтилу. Солнечные лучи, падающіе перпендикулярно на поверхность, освѣщаютъ ее приблизительно такъ, какъ освѣтилъ бы ее источникъ свѣта въ 100000 свѣчей *на разстояніи 1 метра*. Но припомнимъ, что солнце находится отъ насъ на разстояніи 150 *милліардовъ метровъ*. Попытка опредѣлить, во сколько свѣчей была бы

люстра, которая, будучи помѣщена на мѣстѣ солнца, замѣнила бы его нашему глазу, приводитъ къ числу, состоящему изъ нѣсколькихъ единицъ съ 27 нулями!

Фотометрами можно также сравнивать между собою *степень освѣщенія предметовъ* при разныхъ условіяхъ—сравнивать количество отраженнаго свѣта, посылаемаго ихъ поверхностью нашему глазу. Въ этомъ отношеніи особенно интересно сравнить дневное освѣщеніе съ искусственнымъ вечернимъ. Вотъ нѣсколько результатовъ такихъ сравненій, производившихся главнымъ образомъ съ цѣлью установить, какое освѣщеніе желательно въ классныхъ помѣщеніяхъ. Если принять за 1 освѣщеніе поверхности стеариновой (1/4 фунтовой) свѣчею, поставленной на разстояніи 1 метра, при перпендикулярномъ паденіи лучей, то оказывается, что *хорошее* освѣщеніе для занятій при искусственномъ свѣтѣ соотвѣтствуетъ 10 такимъ единицамъ или нѣсколько больше (удовлетворительнымъ можно считать и то, которое достигало бы 8 единицъ). Хорошее же *дневное* освѣщеніе комнаты будетъ около 50 ед., а освѣщеніе у оконъ свѣтомъ, отраженнымъ отъ облаковъ, соотвѣтствуетъ 200—500 свѣчей, поставленныхъ въ разстояніи 1 метра. Въ одномъ ряду измѣреній дневное освѣщеніе большой комнаты (аудиторіи) измѣнялось въ разныхъ мѣстахъ отъ 240 до 10 единицъ. Уголъ, гдѣ было найдено 10 ед., казался уже сравнительно темнымъ, тогда какъ вечеромъ при тѣхъ же 10 единицахъ мы сочли бы поверхность хорошо освѣщенною.

Вообще надо замѣтить, что сужденіе наше о свѣтломъ и темномъ, о бѣломъ и черномъ, очень относительно. Тѣнь отъ карандаша на страницѣ книги, освѣщаемой яркимъ солнечнымъ свѣтомъ, кажется почти черной, между тѣмъ какъ мѣсто, занятое тѣнью, во всякомъ случаѣ освѣщено при этомъ не слабѣе, чѣмъ при разсѣянномъ свѣтѣ въ той же комнатѣ, когда книгу свободно можно читать. Одну и ту же подвальную комнату мы можемъ назвать и темною, и свѣтлою, смотря по тому, съ чѣмъ будемъ сравнивать ея освѣщеніе. „Яркій“ лунный свѣтъ былъ бы темнотою сравнительно со слабымъ солнечнымъ. Пожалуй еще разительнѣе слѣдующій результатъ фотометрическихъ сравненій, уже упоминавшійся выше. Снѣгъ при лунномъ свѣтѣ мы назовемъ бѣлымъ, какъ и при дневномъ освѣщеніи; между тѣмъ количество свѣта, посылаемое нашему глазу снѣжною поверхностью при освѣщеніи полною луною, *меньше* того, которое мы получаемъ отъ поверхности *чернаго* бархата, освѣщеннаго солнцемъ.

---

263 и 264. 1) Почему очень чистая прозрачная вода въ глубокомъ затѣненномъ мѣстѣ кажется почти черною? Какимъ образомъ можно сдѣлать видимымъ въ водѣ слѣдъ солнечныхъ лучей? — 2) Почему лампа, ярко освѣщающая внутренность ком-

наты, не сдѣлаетъ пространства вокругъ себя столь же „свѣтлымъ“, если повѣсить ее ночью напр. посреди большого двора? Чѣмъ объяснить себѣ происхожденіе зари? Зарева пожара? — 3) Если бы мы находились далеко за предѣлами нашей атмосферы въ виду солнца, то представлялось бы намъ міровое пространство также „наполненнымъ свѣтомъ“, какъ оно представляется намъ днемъ съ земли?—4) Отчего вода въ видѣ тумана (облака) или пѣны становится менѣе прозрачною? Почему она въ этомъ видѣ при хорошемъ дневномъ освѣщеніи является „снѣжно-бѣлою“, тогда какъ вода сама по себѣ не имѣетъ такого вида? Чѣмъ объяснить бѣлизну снѣга, состоящаго изъ мелкихъ кристалликовъ *прозрачнаго* льда? Почему мелко истолченное стекло становится бѣлымъ? *Отв.* Многочисленныя частички мелко раздробленнаго тѣла отражаютъ въ общемъ много падающаго на нихъ дневного (бѣлаго) свѣта. (Цвѣтъ многихъ тѣлъ въ порошкѣ блѣднѣе—бѣлѣе—чѣмъ въ сплошномъ кускѣ).—5) Масляное или стеариновое пятно на бѣлой бумагѣ кажется намъ свѣтлымъ на темномъ фонѣ, если смотрѣть „на свѣтъ“, и темнымъ на свѣтломъ фонѣ, если смотрѣть на освѣщенную сторону листа (также промокшая часть бумаги или полотна). Почему?—**267**. Свѣтъ отъ солнца до земли достигаетъ въ 8 мин. 20 сек., отъ ближайшей *звѣзды* въ 4 года, отъ *сиріуса*, самой яркой звѣзды небесной сферы, въ 8 лѣтъ, а отъ *полярной звѣзды* въ 45 лѣтъ. Во сколько приблиз. разъ названныя звѣзды дальше солнца? — Если разстояніе земли отъ солнца представить длиною въ 1 см., то земная орбита имѣла бы размѣры *пятіалтыннаго;* каково будетъ въ томъ же масштабѣ разстояніе до ближайшей звѣзды и до сиріуса? *Отв.* До сиріуса около 5 км. (4,7 версты).—**272**. Каждый изъ свѣтовыхъ пучковъ, падающихъ отъ *точекъ* поверхности солнца на землю (а тѣмъ болѣе напр. въ окно), мы считаемъ ограниченнымъ *параллельными* прямыми. Но можно ли сказать то же самое о прямыхъ, *ограничивающихъ ту свѣтлую полосу,* которую мы видимъ въ пыльномъ воздухѣ комнаты, когда въ нее чрезъ окно попадаетъ солнечный свѣтъ? (Сдѣлать чертежъ и принять во вниманіе, что прямыя, проведенныя отъ двухъ діаметрально противоположныхъ точекъ солнечнаго диска къ какой либо точкѣ на земной поверхности, образуютъ между собою уголъ около ½°).—**275**. 1) Какъ измѣнится чертежъ (177) для того случая, когда непрозрачное тѣло (шаръ) *больше* освѣщающаго *A?*—2) Почему переходъ отъ полной тѣни чрезъ полутѣни къ свѣту не бываетъ рѣзкимъ? (Въ полутѣневое пространство будетъ попадать отъ источника тѣмъ больше свѣта, чѣмъ дальше отъ центральной тѣни; провѣрить на чертежѣ).—3) Тѣнь съ полутѣнями отъ карандаша хорошо видна, если держать карандашъ отвѣсно передъ листомъ бумаги (бѣлыми обоями) при свѣтѣ свѣчи (разстояніе свѣчи отъ бумаги около 1 арш.). Съ удаленіемъ или приближеніемъ карандаша ширина тѣни и полутѣней на бумагѣ измѣняется; объяснить чертежемъ. Не можетъ ли при удаленіи карандаша отъ бумаги наконецъ совсѣмъ

исчезнуть на послѣдней полная тѣнь? Не происходитъ ли чего либо подобнаго съ тѣнями предметовъ, освѣщаемыхъ солнцемъ? (Обратить вниманіе на тѣнь птицы, сидящей высоко на деревѣ, на тѣнь вѣтвей дерева, его листьевъ).—4) Какова пространственная форма полной тѣни, отбрасываемой луною отъ солнца? Какъ очертить границы полутѣни? (Сдѣлать чертежъ; см. также рис. 177). Отчего происходятъ лунныя и солнечныя затменія?—5) Не наблюдается ли въ звуковыхъ явленіяхъ чего либо вродѣ тѣни, такъ сказать звуковой тѣни?—6) Разныя части предмета, находящагося *среди другихъ освѣщенныхъ предметовъ*, бываютъ освѣщены неодинаково, и при срисовываніи напр. съ гипсовыхъ фигуръ тоже различаютъ на нихъ тѣни и полутѣни. Какимъ совсѣмъ другимъ явленіемъ (чѣмъ то, которое разбирается въ этомъ §) обусловливается здѣсь происхожденіе полутѣней? — **276**. Самая удаленная отъ солнца планета, *нептунъ*, въ 30 разъ дальше земли. Во сколько разъ освѣщеніе солнцемъ на такомъ разстояніи слабѣе, чѣмъ на разстояніи земли?—Ближайшая *звѣзда* отъ насъ въ 250000 разъ дальше солнца (см. вопр. § 267). Во сколько разъ менѣе свѣта посылало бы намъ солнце на такомъ разстояніи? *Отв.* Въ $62^1/_2$ милліарда разъ.—Излученіе, достигающее до насъ отъ звѣзды „6-й величины“ (почти крайній предѣлъ звѣздъ видимыхъ простымъ глазомъ), такое, какъ отъ свѣчи, находящейся отъ глаза въ разстояніи 11 километровъ (въ предположеніи, что свѣтъ свѣчи не задерживается воздухомъ). Во сколько разъ меньше свѣта получаемъ мы отъ такой звѣзды сравнительно со свѣчею въ 1 метрѣ разстоянія? *Отв.* Въ 121 милліонъ разъ. — На разстояніи 1 аршина отъ стеариновой свѣчи, при перпендикулярномъ освѣщеніи ею, еще можно читать обыкновенную газетную печать. На какомъ разстояніи отъ источника свѣта въ *1600 свѣчей* (что примѣрно соотвѣтствуетъ хорошему уличному электрическому фонарю) еще можно будетъ читать тотъ же шрифтъ? *Отв.* На разстояніи 40 аршинъ ($1600 = 40^2$).—Полная луна освѣщаетъ землю приблиз. въ 620000 разъ слабѣе солнца; во сколько разъ надо было бы удалиться отъ солнца, чтобы свѣтъ его сравнялся со свѣтомъ нашей полной луны? (Для упрощенія можно вмѣсто приведеннаго числа взять 640000, имѣя въ виду, что $64 = 8^2$).—**280**. Если поставить карандашъ передъ экраномъ, освѣщаемымъ свѣчею и лампою на *одинаковыхъ* разстояніяхъ отъ экрана, то изъ двухъ тѣней болѣе темною будетъ та, которая соотвѣтствуетъ болѣе сильному источнику (лампѣ). Объяснить это (сдѣлать чертежъ).—При какомъ условіи тѣни отъ свѣчи и лампы будутъ одинаковой густоты? Какъ воспользоваться этимъ пріемомъ для сравненія освѣтительной способности лампы и свѣчи? (Тѣневой фотометръ).—**281**. Вполнѣ ли отсутствуетъ свѣтъ въ „темную“ ночь? Если, находясь въ такую ночь въ освѣщенной комнатѣ, смотрѣть на окно, то оно кажется *чернымъ*; какимъ оно покажется намъ, если въ комнатѣ загасить свѣтъ (и дать глазу привыкнуть къ новой обстановкѣ?) — Въ помѣщеніи, которое мы

склонны считать совершенно темнымъ, нѣкоторыя животныя (напр. кошки) еще видятъ предметы; почему? (Кошачьи глаза *свѣтятся* въ помѣщеніи, которое нашему глазу является вполнѣ темнымъ, — именно свѣтятся *отраженнымъ* свѣтомъ; при совершенномъ отсутствіи свѣта глаза кошки перестаютъ свѣтиться).

XVII.

Отраженіе свѣта отъ зеркалъ; зеркальныя изображенія.

Отраженіе свѣтовыхъ лучей отъ плоскаго зеркала.

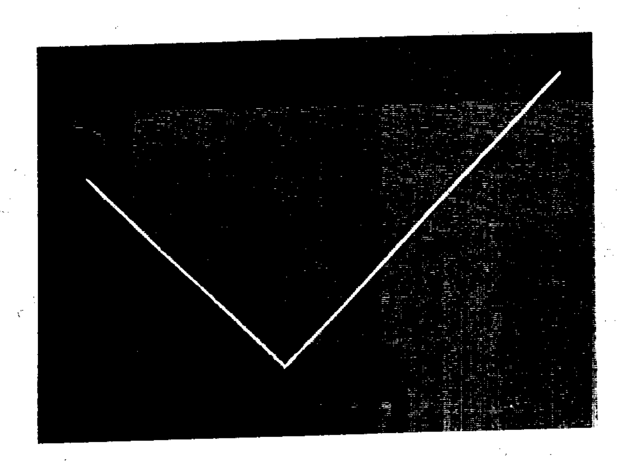
282*. Зеркаломъ въ физикѣ называютъ всякую полированную („блестящую") поверхность; зеркаломъ будетъ также спокойная поверхность ртути, воды и т. п. Обыкновенныя наши зеркала состоятъ изъ хорошо отполированнаго— т. наз. зеркальнаго—стекла съ наведеннымъ на него сзади тонкимъ слоемъ серебра[1]; отраженіе и происходитъ главнымъ образомъ съ задней поверхности, на границѣ стекла и серебрянаго слоя, хотя конечно свѣтъ частью отражается и переднею поверхностью стекла. Для простоты мы будемъ считать зеркало имѣющимъ только одну отражающую поверхность; таковы въ дѣйствительности металлическія зеркала, въ томъ числѣ и поверхность ртути.

Зеркала бываютъ не только плоскія, но и различнымъ образомъ изогнутыя. Изъ послѣднихъ мы разсмотримъ лишь такія, поверхность которыхъ составляетъ часть шара; они называются шаровыми или сферическими. Сферическія зеркала могутъ быть выпуклыми или вогнутыми, смотря по тому, которая сторона шаровой поверхности сдѣлана зеркальною: внѣшняя (выпуклая) или внутренняя (вогнутая). Напримѣръ изъ часового стекла сферической формы можно сдѣлать и выпуклое, и вогнутое зеркало, покрывъ одну изъ его поверхностей слоемъ серебра.

[1] Прежде зеркальная наводка дѣлалась оловянная, для чего зеркальное стекло покрывали растворомъ олова въ ртути (оловянной „амальгамой") и затѣмъ испаряли ртуть нагрѣваніемъ. Оловянная наводка встрѣчается нынѣ только у самыхъ простыхъ зеркалъ. Во всякомъ же случаѣ она никогда не состоитъ изъ ртути, какъ обыкновенно думаютъ.

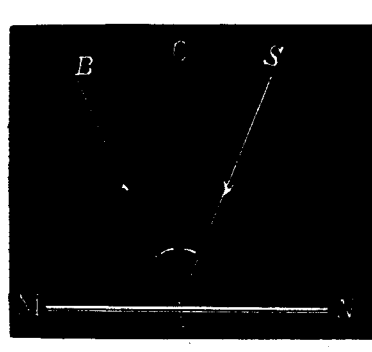
Нѣкоторыя свѣдѣнія объ отраженіи были даны выше (см. § 236 гл. XIV, § 263 и др. мѣста пред. главы). Здѣсь мы ближе разсмотримъ отраженіе свѣта: 1) отъ плоскаго зеркала, 2) отъ сферическихъ зеркалъ, 3) отъ незеркальныхъ (шероховатыхъ) поверхностей.

Если полоскѣ солнечнаго свѣта дать упасть на плоское зеркало (лучше всего въ затемненномъ помѣщеніи, рис. 186), то полоска отраженнаго свѣта превосходно видна: конечно и ту, и другую мы видимъ лишь благодаря носящейся въ воздухѣ пыли. (Наблюденіе можно сдѣлать и съ всякимъ достаточно сильнымъ источникомъ свѣта, напр. электрическимъ фонаремъ). Повертывая зеркало различнѣйшимъ образомъ,—переводя свѣтовой „зайчикъ" съ мѣста на мѣсто,—мы легко убѣждаемся въ замѣчательной правильности явленія. Назовемъ угломъ паденія луча уголъ e, составляемый падающимъ лучемъ съ перпендикуляромъ къ зеркалу въ точкѣ паденія, а угломъ отраженія—уголъ r, составленный отраженнымъ лучемъ съ тѣмъ же перпендикуляромъ. Изъ точнѣйшихъ наблюденій слѣдуетъ, что 1) уголъ отраженія равенъ углу паденія и 2) лучи



186.

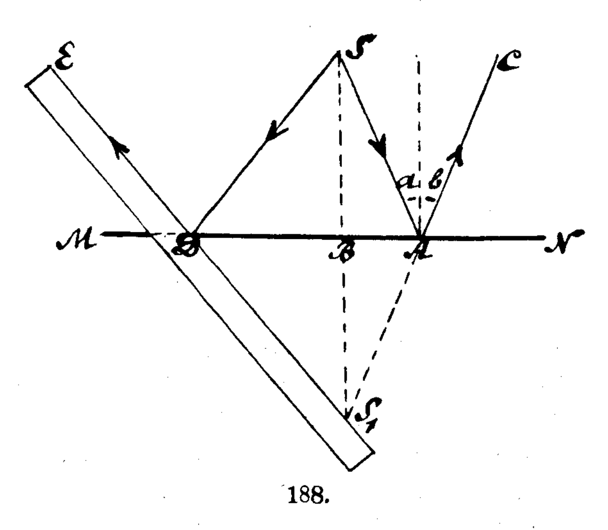
падающій и отраженный находятся въ плоскости перпендикулярной къ зеркалу [1]. Второе положеніе очень упрощаетъ чертежи: если именно зеркало изобразить прямой линіей MN (рис. 187), то лучи падающій SA, отраженный AB и перпендикуляръ AC будутъ лежать въ одной плоскости—въ плоскости чертежа. Съ помощью линейки и циркуля (или транспортира) легко находится направленіе отраженнаго луча, если данъ уголъ паденія. Наоборотъ, если падающій лучъ будетъ направленъ по BA, то онъ отразится по AS. Лучъ, падающій перпендикулярно къ зеркалу, конечно отражается обратно по тому же направленію.



187.

Основываясь на законахъ отраженія, мы можемъ изображать разныя явленія отраженія простыми чертежами, примѣняя къ нимъ, въ необходимыхъ случаяхъ, чисто геометрическія разсужденія.

283. Направленіе луча послѣ его отраженія отъ плоскаго зеркала легко находится посредствомъ слѣдующаго пріема, прямо вытекающаго изъ законовъ отраженія. Пусть изъ точки S падаетъ на зеркало MN лучъ SA (рис. 188). Опустивъ изъ S на зеркало перпендикуляръ SB, продолжимъ его по ту сторону плоскости MN на разстояніе BS_1, равное BS. Если затѣмъ проведемъ прямую S_1AC, то углы a и b очевидно будутъ равны, и слѣдов. AC представитъ собою отраженный лучъ, соотвѣтствующій падающему SA.



188.

Это ясно уже изъ хорошо сдѣланнаго чертежа. Но въ томъ же можно еще лучше удостовѣриться простымъ геометрическимъ разсужденіемъ, которое даетъ выводъ, не зависящій отъ неизбѣжныхъ погрѣшностей чертежа. Изъ равенства прямоугольныхъ треугольниковъ ABS и ABS_1 слѣдуетъ равенство угловъ SAB и S_1AB; но послѣдній уголъ равняется углу CAN; слѣдов. $\angle SAB = \angle CAN$, а отсюда выходитъ и равенство угловъ a и b.

Если падающій лучъ будетъ SD, то, приложивъ линейку къ точкамъ S_1 и D (какъ показываетъ рис. 188), мы тотчасъ найдемъ направленіе отраженнаго луча DE.

[1] Воткнувъ въ доску перпендикулярно прямую палочку и взявъ двѣ такихъ же въ качествѣ „лучей“, легко сдѣлать очень наглядным, что каждое изъ названныхъ условій можетъ быть выполнено независимо отъ другого. Надо замѣтить себѣ, что оба условія одинаково важны для характеристики явленій отраженія, съ которыми мы будемъ имѣть дѣло.

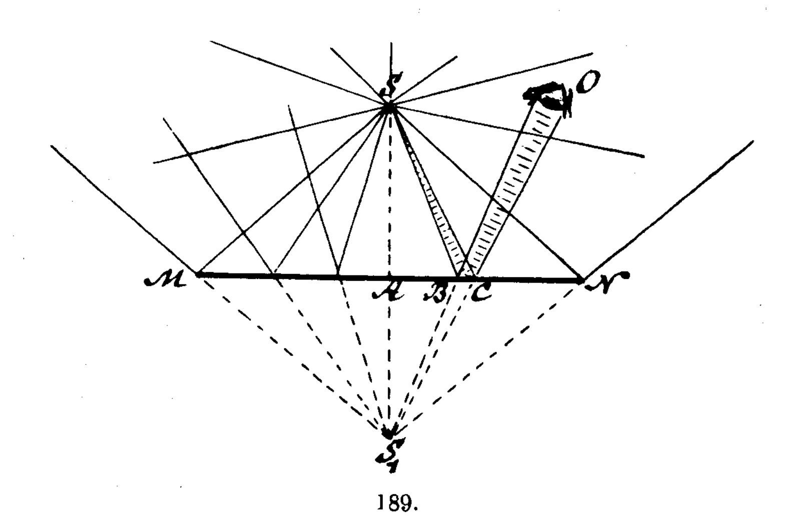
Происхожденіе изображеній въ плоскомъ зеркалѣ.

284. Послѣ предыдущаго не трудно будетъ дать себѣ отчетъ въ томъ, какимъ образомъ происходятъ изображенія [1] предметовъ, находящихся передъ зеркаломъ. Такъ какъ изображеніе предмета составляется изъ изображеній его отдѣльныхъ точекъ, то мы начинаемъ разсмотрѣніе съ точки, хотя въ дѣйствительности всегда имѣемъ дѣло со свѣтящими или посылающими отраженный свѣтъ тѣлами.

Положимъ, что передъ плоскимъ зеркаломъ MN (рис. 189) находится точка S. Мы только что видѣли, что лучи, падающіе на зеркало изъ точки S, отражаются отъ него въ такихъ направленіяхъ, какъ будто бы всѣ они (послѣ отраженія) выходили изъ точки S_1, лежащей за зеркаломъ прямо противъ S, на разстояніи $AS_1 = AS$. Гдѣ бы нашъ глазъ (O) ни помѣщался передъ зеркаломъ, онъ всегда будетъ находиться подъ впечатлѣніемъ свѣтового пучка, какъ бы исходящаго изъ точки S_1 (на рисункѣ свѣтовой пу-

[1] Въ повседневной жизни мы привыкли называть ихъ „отраженіями“—въ зеркалѣ, водѣ и пр. Выше былъ достаточно разъясненъ истинный смыслъ слова „отраженіе“ (отбрасываніе), и не слѣдуетъ его смѣшивать съ тѣмъ, что является уже слѣдствіемъ отраженія.

чекъ, попадающій въ глазъ O, отмѣченъ штриховкой). Если бы мы помѣстили самый источникъ свѣта въ S_1, а въ зеркалѣ сдѣлали бы прорѣзъ BC, то пучекъ прямого свѣта, воспринимаемый нашимъ глазомъ, ничѣмъ не отличался бы отъ пучка отраженныхъ лучей, посылаемыхъ глазу точ-



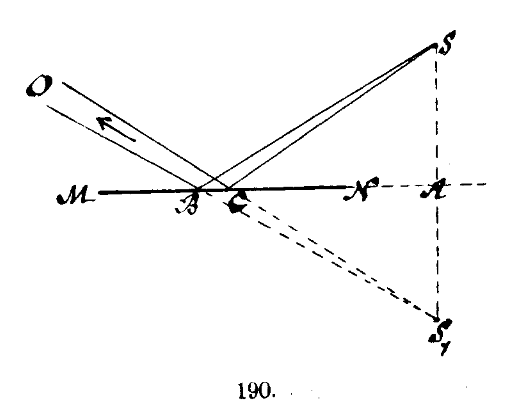
189.

кою S (если конечно не считать нѣкотораго ослабленія свѣта вслѣдствіе неполнаго отраженія). И вотъ глазъ нашъ, находясь подъ впечатлѣніемъ отраженнаго пучка, видитъ свѣтящую точку въ его вершинѣ, т. е. въ точкѣ S_1, которая и будетъ изображеніемъ точки S. На неизбѣжность такого оптическаго обмана уже было указано выше (§ 271).

Нельзя не замѣтить, что происхожденіе его имѣетъ не мало общаго съ происхожденіемъ того слухового обмана, который называется эхо (см. выше, § 237); но только свѣтовое явленіе происходитъ съ большею отчетливостью. Въ случаѣ ударовъ или толчковъ по нашему тѣлу мы также всегда ищемъ ихъ причину въ томъ направленіи, по какому пришелся толчекъ. Такъ, если намъ завяжутъ глаза и, подбросивъ мячикъ, дадутъ ему упасть намъ на темя, то, основываясь на непосредственномъ ощущеніи, мы скажемъ, что онъ брошенъ сверху, хотя онъ конечно могъ быть первоначально брошенъ и совсѣмъ иначе; только разборъ внѣшнихъ обстоятельствъ укажетъ намъ, откуда именно мячикъ былъ брошенъ. Разсмотрѣнные же нами зрительные (и слуховые) обманы отличаются тою особенностью, что отъ нихъ мы не можемъ отдѣлаться никакимъ разборомъ обстоятельствъ, никакимъ разсужденіемъ.

Изображеніе S_1 можно разсматривать какъ самостоятельный источникъ свѣта, съ тою лишь разницей, что онъ посылаетъ лучи не во всѣ стороны, какъ свѣтящаяся точка S (см. рис. 189), а въ предѣлахъ, ограничиваемыхъ прямыми S_1M и S_1N, т. е. неполный свѣтовой пучекъ. Помѣстивъ глазъ внѣ этихъ границъ, мы уже не увидимъ изображенія S_1.

Если положеніе точки S относительно зеркала таково (рис. 190), что проведенный изъ нея перпендикуляръ минуетъ зеркало, то мы можемъ представить себѣ поверхность зеркала продолженною до встрѣчи съ перпендикуляромъ и затѣмъ отложить $AS_1 = AS$. Въ дѣйствительности мѣсто изображенія опредѣляется вершиною входящаго въ глазъ O свѣтового пучка; но эта вершина будетъ находиться въ S_1, хотя бы отъ всего зеркала осталась лишь небольшая часть BC, которая необходима, чтобы глазъ въ положеніи O могъ видѣть изображеніе точки.



190.

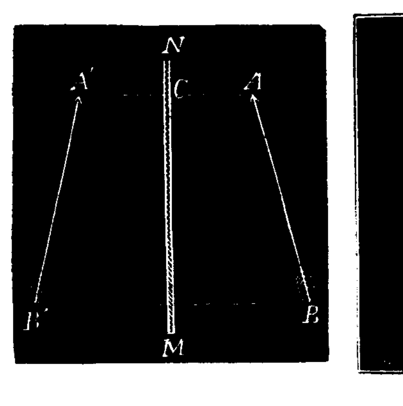
285*. Если передъ зеркаломъ находится не точка, какъ мы предполагали, а предметъ, то послѣ сказаннаго уже легко понять, гдѣ должны казаться глазу изображенія его различныхъ точекъ: стóитъ лишь представить себѣ, что изъ данной точки предмета на зеркало опущенъ перпендикуляръ и продолженъ на такое же разстояніе за зеркало (см. рис. 191, 192 и 193).

Путемъ опыта мѣсто изображенія въ плоскомъ зеркалѣ можно опредѣлить напр. слѣдующимъ образомъ. Поставимъ зажженый огарокъ передъ кускомъ хорошаго оконнаго стекла и точно такой же—но не зажженый—огарокъ по ту сторону стекла. Передвигая послѣдній, легко найти положеніе, при которомъ изображеніе пламени попадетъ какъ разъ на его свѣтильню: огарокъ покажется намъ зажженымъ (рис. 194). Этимъ и опредѣлится мѣсто изображенія огарка, стоящаго передъ стекломъ.

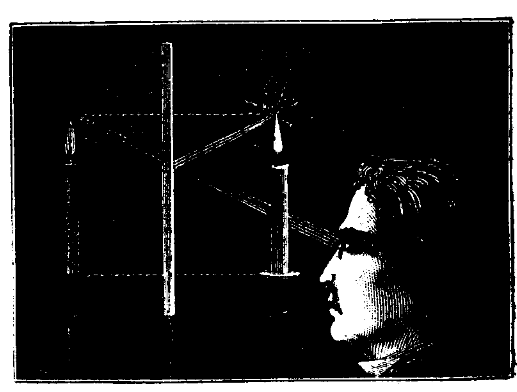
Если зеркальная поверхность не плоская, а имѣетъ не-

ровности, то лучи послѣ отраженія пойдутъ нѣсколько иначе, чѣмъ отразившись отъ плоскаго зеркала,—менѣе правильно,—а потому глазъ нашъ увидитъ изображенія болѣе или менѣе искаженными (плохія, дешевыя зеркала).

286. Обратимъ вниманіе на одну интересную особенность зеркальныхъ изображеній: изображеніе, при полномъ

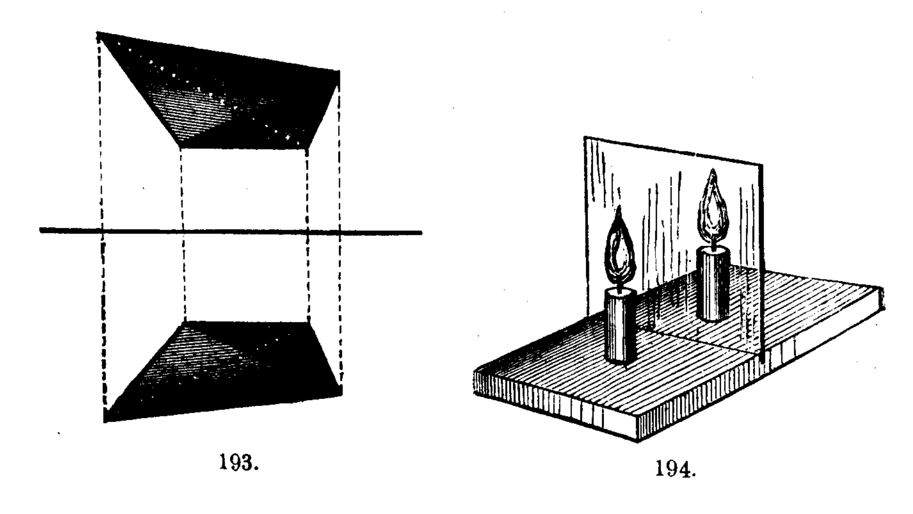


191.



192.

кажущемся сходствѣ съ предметомъ, геометрически не тожественно съ нимъ. Мы назовемъ два предмета гео-

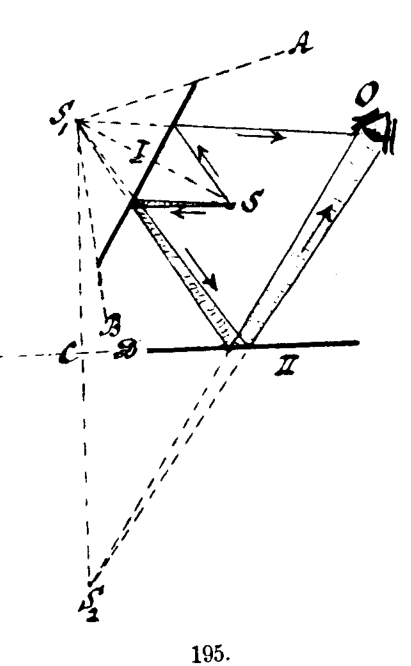


193. 194.

метрически одинаковыми или тожественными, если можемъ вообразить себѣ оба предмета совмѣщенными другъ съ дру-

гомъ. Но этого именно нельзя сказать о предметѣ и его зеркальномъ изображеніи. Кисть правой руки представляется въ зеркалѣ кистью лѣвой; каждый однако хорошо понимаетъ, что правую и лѣвую руки (правую и лѣвую перчатки) никакъ нельзя вообразить себѣ совмѣщенными (вложенными безъ промежутковъ одна въ другую). Зеркальное изображеніе относится къ предмету именно какъ правая половина нашего тѣла къ лѣвой. Оно не тожественно, но симметрично съ предметомъ.

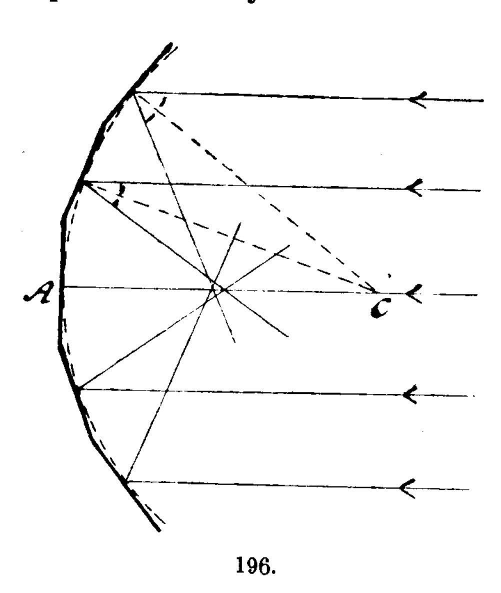
287*. Изображеніе S_1 точки S (рис. 195) можно разсматривать какъ самостоятельный источникъ свѣта, но посылающій неполный свѣтовой пучекъ—въ границахъ, опредѣляемыхъ прямыми S_1A и S_1B. Пучекъ свѣта, исходящаго отъ точки S, отразившись отъ зеркала I, можетъ попасть на другое зеркало (II), отразиться отъ него и затѣмъ достигнуть глаза O. Тогда глазъ увидитъ во второмъ зеркалѣ точно такое же изображеніе S_2, какъ если бы въ S_1 находилась дѣйствительная свѣтящая точка, и положеніе S_2 опредѣлится, если мы изъ S_1 опустимъ перпендикуляръ на продолженное зеркало II и отложимъ $CS_2 = CS_1$. Но можетъ случиться, что изображеніе S_2, въ свою очередь, дастъ изображеніе въ I зеркалѣ и т. д. Отсюда понятно, какимъ образомъ происходятъ многократныя изображенія предмета, если онъ находится между двумя зеркалами. Изображеній будетъ тѣмъ больше, чѣмъ меньше уголъ, составляемый плоскостями зеркалъ; въ случаѣ двухъ параллельныхъ зеркалъ число изображеній неопредѣленно велико. Такъ съ помощью зеркалъ, помѣщаемыхъ подъ различными углами другъ къ другу, могутъ быть достигнуты разнообразнѣйшіе зрительные эффекты,—можетъ быть созданъ цѣлый міръ предметовъ, не имѣющихъ дѣйствительнаго существованія, которыя однако для глаза столь же несомнѣнны или реальны, какъ существующія въ дѣйствительности[1].



195.

[1] Очень любопытны въ этомъ отношеніи такъ называемые „зер-

288. Принимая свѣтовые лучи на плоское зеркало и поворачивая его такъ или иначе, мы можемъ придавать отраженнымъ лучамъ любое направленiе. (Это хорошо извѣстно каждому школьнику, раздобывшему зеркальный обломокъ). Съ помощью нѣсколькихъ зеркалъ можно направлять свѣтъ въ одно мѣсто и такимъ образомъ сосредоточивать его. Для насъ особенно интересно отмѣтить случай, когда зеркала расположены по части шаровой поверхности (какъ показываетъ рис. 196: на немъ изображена ломаная линiя, части которой касательны къ кругу съ центромъ въ *C*). Параллельные пучки свѣта (напр. солнечнаго), отразившись отъ зеркала, собираются тогда приблизительно въ одномъ мѣстѣ, между *C* и *A*.



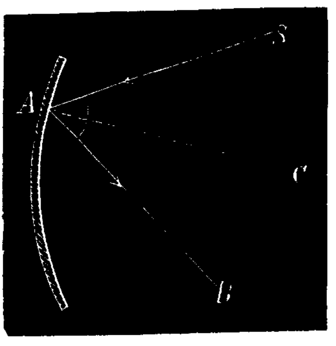
196.

Отраженiе лучей отъ сферическихъ зеркалъ.

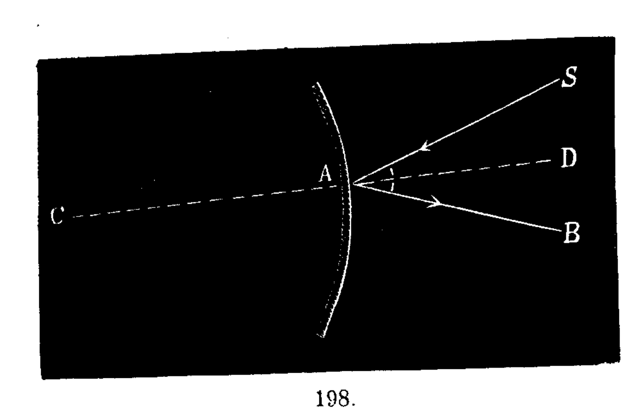
289. Сферическое зеркало мы изображаемъ на рисункѣ дугою круга (рис. 197 и 198). Центръ круга (*C*) соотвѣтствуетъ центру того шара, часть поверхности котораго составляетъ зеркало; точка *C* называется центромъ кривизны зеркала. Каждая прямая линiя, проведенная изъ центра кривизны къ поверхности зеркала, будетъ его радiусъ (на нашихъ рисункахъ—радiусъ дуги, изображающей зеркало). Контуръ зеркала вездѣ предполагается круговымъ (т. е., говоря нагляднѣе, предполагается, что зеркало вставлено въ круглую рамку).

кальные лабиринты", т. е. помѣщенiя, разгороженныя многими зеркалами въ различнѣйшихъ положенiяхъ. Пробывъ въ такомъ лабиринтѣ достаточно долго, посѣтитель настолько отучается довѣрять своему зрѣнiю, что, выйдя потомъ на улицу, не сразу прiобрѣтаетъ обычную увѣренность въ движенiяхъ среди окружающихъ его предметовъ.

Положимъ, что лучъ *SA* падаетъ на вогнутое сферическое зеркало (рис. 197), и требуется опредѣлить направленiе отраженнаго луча. Чтобы примѣнить къ этому случаю законы отраженiя, представимъ себѣ сперва вогнутое зеркало не сферическимъ, а состоящимъ изъ многихъ плоскихъ зеркалецъ одинаковой величины, расположенныхъ по поверхности шара, какъ выше на рис. 196. Чѣмъ меньше будутъ отдѣльныя зеркальца, тѣмъ болѣе наше вогнутое многогранное зеркало будетъ приближаться къ сферическому, и мы видимъ изъ сравненiя рис. 196 и 197, что перпендикуляру въ точкѣ паденiя луча будетъ соотвѣтствовать радiусъ сферическаго зеркала[1]. Итакъ, построивъ по ту сторону радiуса (рис. 197) уголъ *CAB*, равный углу паденiя *SAC*, найдемъ требуемое направленiе отраженнаго луча *AB*. Въ случаѣ сферическаго выпуклаго зеркала (рис. 198) конечно пришлось бы взять продолженiе (*AD*) радiуса и по-



197.

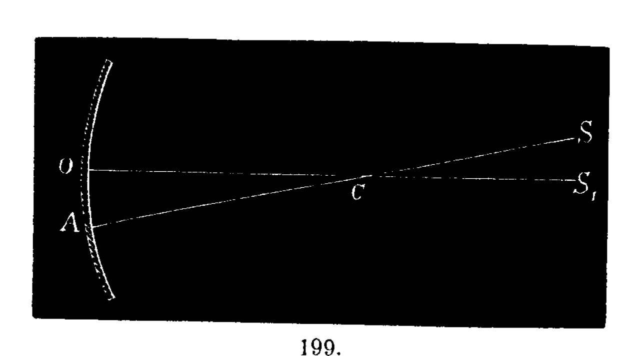


198.

[1] Изъ геометрiи извѣстно, что кругъ можно разсматривать какъ правильный многоугольникъ съ безчисленнымъ множествомъ сторонъ. На практикѣ мы часто не отличаемъ ломаной линiи съ достаточно мелкими прямолинейными частями отъ кривой. Такъ, вырѣзывая кругъ изъ папки ножницами, мы собственно вырѣзываемъ многоугольникъ, стороны котораго стараемся лишь сдѣлать неуловимо малыми.

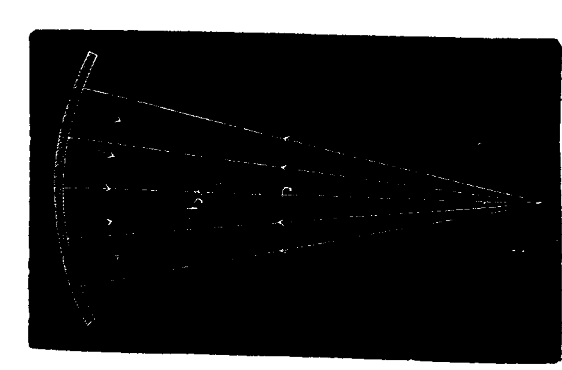
строить $\angle DAB = \angle DAS$. Очевидно, что лучъ, падающій на сферическое зеркало по направленію радіуса (по CA рис. 197 и DA рис. 198), отражается обратно также по направленію радіуса, такъ какъ послѣдній соотвѣтствуетъ перпендикуляру въ точкѣ паденія.

Прямыя, проведенныя къ зеркалу чрезъ центръ кривизны C, вообще называются оптическими осями; изъ нихъ та, которая проходитъ чрезъ средину O зеркала (прямая OS_1 на рис. 199), называется главною, а всякая другая (напр. AS) —боковою или побочною.

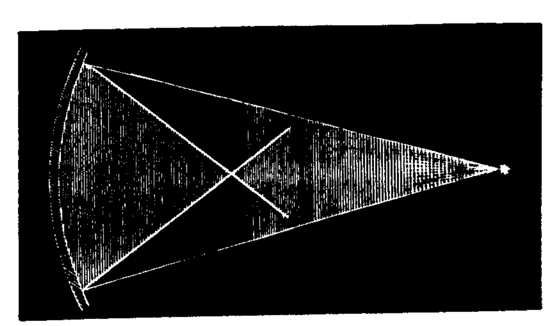


199.

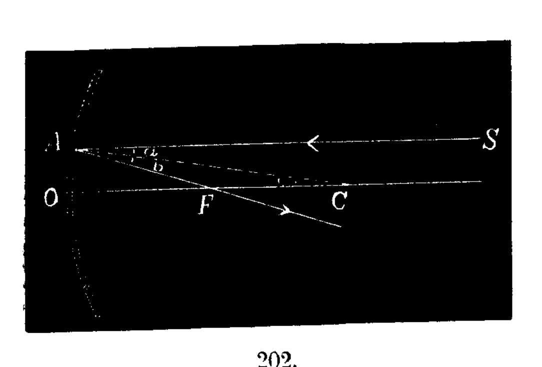
290. Пусть теперь на наше зеркало падаетъ свѣтовой пучекъ изъ точки S (рис. 200), лежащей на главной оптической оси, дальше центра кривизны C. Изъ предыдущаго уже видно, что вогнутое сферическое зеркало будетъ отражать свѣтовой пучекъ подобно упомянутому выше многогранному (рис. 196), т. е. направлять лучи внутрь, въ сторону главной оптической оси. Въ самомъ дѣлѣ, если, пользуясь указаннымъ въ пред. § пріемомъ, построимъ ходъ отраженныхъ лучей, то увидимъ, что они сходятся передъ зеркаломъ, приблизительно въ одной точкѣ (f), которая лежитъ на главной оси между центромъ C и срединою радіуса. Пучекъ расходящихся лучей послѣ отраженія становится сходящимся. Вершина отраженнаго пучка, или точка f, въ которой пере-


200.

сѣкаются лучи, называется фокусомъ этихъ лучей или фокусомъ точки S. Сойдясь въ точкѣ f, свѣтовой пучекъ дальше конечно становится расходящимся. Рис. 201 есть нѣкоторое подражаніе тому, что мы увидѣли бы, если бы въ пыльномъ воздухѣ комнаты направили на вогнутое сферическое зеркало пучекъ свѣта отъ яркаго источника очень малыхъ размѣровъ (обозначеннаго на рисункѣ звѣздочкою).


201.

291. Положеніе фокуса f (рис. 200) на оптической оси конечно будетъ измѣняться съ приближеніемъ и удаленіемъ точки S, потому что будутъ измѣняться углы паденія, а слѣдов. и углы отраженія лучей. По мѣрѣ приближенія S къ центру кривизны C, фокусъ тоже будетъ придвигаться къ C (почему?), и когда точка S окажется въ центрѣ C, ея фокусъ совпадетъ съ центромъ, такъ какъ теперь всѣ лучи, падая на зеркало по направленію радіусовъ, отразятся обратно по тѣмъ же направленіямъ. Если свѣтящуюся точку помѣстить въ f, то отраженные лучи конечно сойдутся въ S (рис. 200). Напротивъ, съ удаленіемъ точки S отъ зеркала, фокусъ ея f будетъ отодвигаться отъ C въ сторону зеркала. Предположимъ, что точка S удалена на чрезвычайно большое разстояніе, такъ чтобы падающіе на зеркало лучи можно было считать параллельными главной оси. Чертежъ (рис. 202) показалъ бы намъ, что тогда отраженные лучи пересѣкутъ главную ось въ точкѣ F, лежащей почти ровно на по-

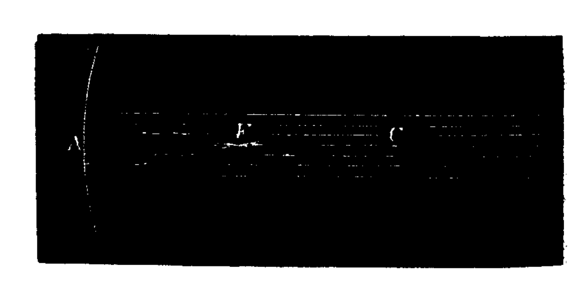


202.

ловинѣ радіуса. Это слѣдовательно ближайшее разстояніе, на которое можетъ придвинуться къ зеркалу фокусъ точки при безпредѣльно большомъ ея удаленіи отъ зеркала.

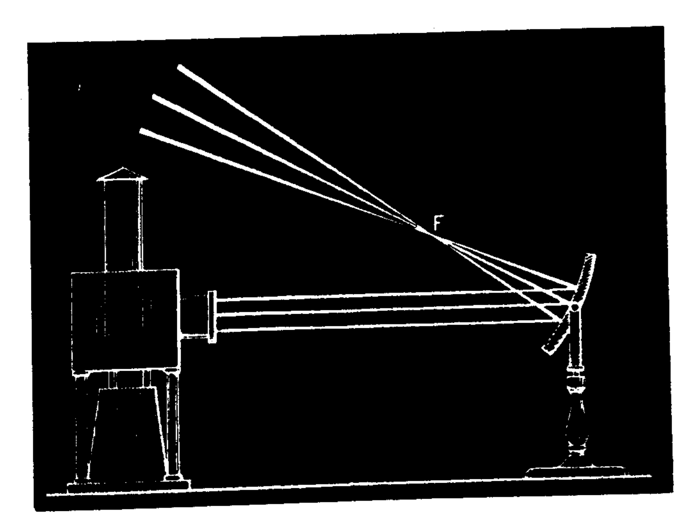
Положеніе фокуса лучей, параллельныхъ главной оси, можно опредѣлить и слѣдующимъ образомъ, основываясь на нѣкоторыхъ простыхъ геометрическихъ истинахъ. Въ треугольникѣ ACF (рис. 202) углы b и c равны, п. ч. $\angle b = \angle a$, какъ углы отраженія и паденія, углы же a и c — внутренніе накрестлежащіе; слѣдов. $AF = FC$. Но прямая AF тѣмъ ближе по длинѣ къ OF, чѣмъ меньше уголъ ACO, т. е. чѣмъ меньшую долю полной окружности составляетъ часть AO. При достаточной малости угла ACO можно считать AF и OF равными, и тогда $OF = FC$. Слѣдовательно отраженные лучи пересѣкутся съ осью въ одной точкѣ, лежащей на половинѣ радіуса.—Выше было упомянуто, что лучи точки S (рис. 200) послѣ отраженія сходятся приблизительно въ одной точкѣ. Надо вообще замѣтить, что фокусъ отраженныхъ лучей, посылаемыхъ точкою, тѣмъ съ бо́льшимъ приближеніемъ можно считать за точку, чѣмъ больше радіусъ кривизны зеркала и чѣмъ меньшая часть зеркала вокругъ оси охватывается падающимъ на него пучкомъ. На рисункахъ, ради ихъ разборчивости, обыкновенно не приходится въ достаточной мѣрѣ соблюдать эти условія.

Точка, въ которой собираются по отраженіи лучи, падающіе на зеркало параллельно его главной оси, называется главнымъ фокусомъ, а разстояніе OF (рис. 202 или AF на рис. 203) называется просто фокуснымъ разстояніемъ зеркала. Итакъ, если извѣстенъ радіусъ кривизны зеркала (онъ напр. вездѣ дается на нашихъ рисункахъ), то мы тотчасъ можемъ опредѣлить фокусное разстояніе, — считая его равнымъ половинѣ радіуса,—и наоборотъ.

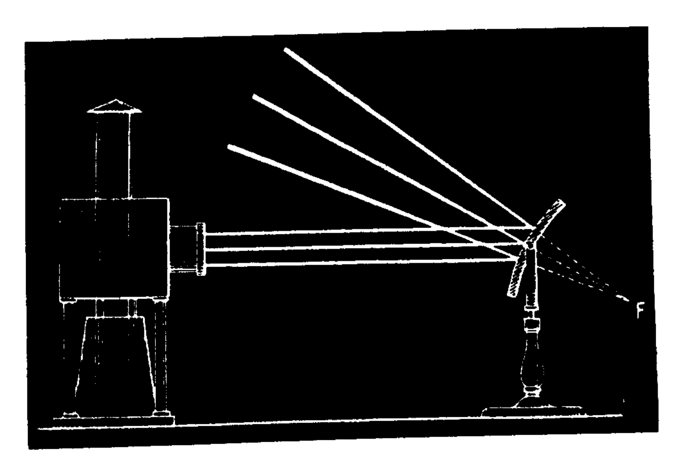


203.

292. Съ сильнымъ источникомъ свѣта (электрическимъ фонаремъ) можно въ пыльномъ воздухѣ комнаты очень ясно видѣть схожденіе свѣтового пучка, отраженнаго отъ вогнутаго сферическаго зеркала, какъ это показано для параллельнаго пучка на рис. 204[1]. Хорошо пользоваться и солнечнымъ свѣтомъ, о чемъ будетъ сказано дальше отдѣльно, въ § 301.



204.



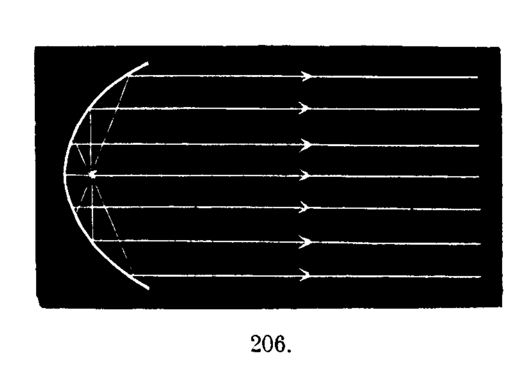
205.

[1] Зеркало немного повернуто—такъ, чтобы его главная ось не была параллельна падающему свѣтовому пучку: тогда отраженный пучекъ сходится внѣ главной оси, и мѣсто его схода видно яснѣе. На рисункѣ кромѣ того изображенъ не сплошной пучекъ свѣта отъ фонаря а взято нѣсколько тонкихъ параллельныхъ пучковъ.

Для сравненія, на рис. 205 представленъ подобный же опытъ съ выпуклымъ сферическимъ зеркаломъ: какъ видимъ, параллельный пучекъ послѣ отраженія становится расходящимся.

Послѣ этого понятно, почему вогнутое сферическое зеркало называется также собирательнымъ, а выпуклое—разсѣевающимъ (о немъ ниже, § 302).

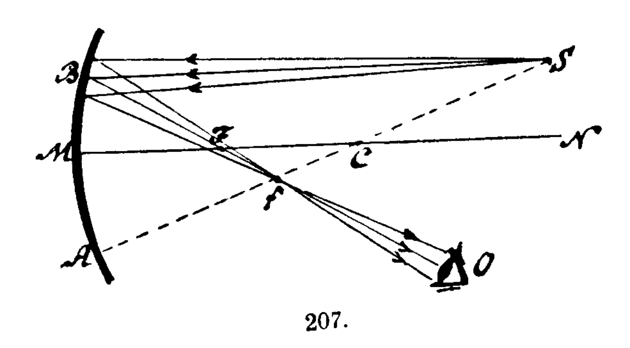
293. Легко сообразить теперь, что если помѣстимъ свѣтящую точку въ главномъ фокусѣ F собирательнаго зеркала, то лучи послѣ отраженія пойдутъ параллельно главной оптической оси. Надо впрочемъ имѣть въ виду, что это относится и здѣсь лишь до лучей, падающихъ на зеркало достаточно близко отъ главной оптической оси (см. напр. рис. 203). Кромѣ того, въ дѣйствительности каждый нашъ свѣтовой источникъ есть тѣлесный предметъ и слѣдовательно не можетъ быть совмѣщенъ съ тою точкою, которая называется главнымъ фокусомъ. На практикѣ для искусственнаго полученія пучка приблизительно параллельнаго свѣта предпочитаютъ пользоваться вогнутымъ зеркаломъ не сферической, а иной формы, изображенной на рис. 206 (т. наз. „параболическое“ зеркало), помѣщая въ его фокусѣ сильный источникъ свѣта по возможности малыхъ размѣровъ. Мы знаемъ (§ 278), что степень освѣщенія предметовъ параллельнымъ пучкомъ свѣта вовсе не ослаблялась бы съ увеличеніемъ разстоянія, если бы не происходило нѣкотораго поглощенія лучей въ окружающей средѣ (воздухѣ). Отсюда примѣненіе вогнутыхъ (параболическихъ) зеркалъ на маякахъ, въ фонаряхъ паровозовъ, въ прожекторахъ,—для освѣщенія на далекое разстояніе.



206.

294*. Разсмотримъ еще тотъ случай, когда свѣтящая точка S находится внѣ главной оси, неподалеку отъ нея, и притомъ (на рис. 207) вправо отъ центра кривизны C. Чтобы

простѣйшимъ путемъ найти ходъ свѣтового пучка послѣ отраженія, мы поступимъ слѣдующимъ образомъ. Изъ всего пучка, посылаемаго точкою S зеркалу, возьмемъ два луча и именно: 1) лучъ, направленный вдоль побочной оси SA, и 2) лучъ SB, параллельный главной оси (MN). Первый, отразившись, пойдетъ по тому же самому направленію, по которому упалъ, т. е. вдоль AS (п. ч. направленіе оси соотвѣтствуетъ перпендикуляру въ точкѣ A), а второй по отраженіи пройдетъ чрезъ главный фокусъ F, т. е. чрезъ средину радіуса MC. Отраженные лучи пересѣкутся въ точкѣ f. Чертежъ показалъ бы намъ, что въ этой точкѣ (приблизительно) пересѣкутся и другіе лучи, падающіе изъ точки S на зеркало неподалеку отъ его главной оси (на рис. 207 взято, кромѣ параллельнаго главной оси, еще два луча). Слѣдовательно точка f и будетъ въ нашемъ случаѣ фокусомъ лучей точки S. Итакъ отраженный пучекъ опять сходится передъ зеркаломъ—въ точкѣ, лежащей на той же оптической оси, на которой находится точка S.



207.

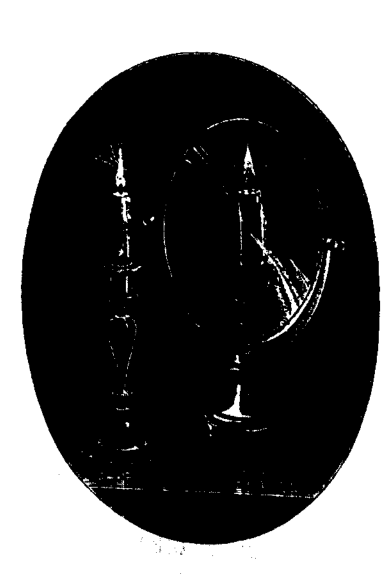
295. Какъ видимъ, разобранныя только что явленія, сравнительно съ отраженіемъ лучей отъ плоскаго зеркала, представляютъ гораздо больше разнообразія (надо еще замѣтить, что мы ограничились лишь самымъ необходимымъ). Но главная ихъ особенность—въ томъ, что падающій на зеркало расходящійся (или параллельный) свѣтовой пучекъ сходится въ точкѣ, лежащей передъ зеркаломъ, и эта точка является вершиной расходящагося далѣе свѣтового пучка. Послѣдній произвелъ бы на глазъ O (рис. 207) такое впечатлѣніе, какъ будто свѣтящая точка

находилась именно въ f: глазъ увидѣлъ бы здѣсь изображеніе точки S. На экранѣ (кускѣ бѣлаго картона) мы легко получили бы въ фокусѣ лучей свѣтлую точку. Ничего подобнаго не можетъ дать намъ плоское зеркало.

Разсмотрѣннымъ здѣсь путемъ происходятъ такія изображенія предметовъ, которыя при выполненіи нѣкоторыхъ условій (объ этомъ ниже) можно видѣть какъ бы носящимися въ пространствѣ передъ зеркаломъ, а еще проще— принять на экранъ. Они называются дѣйствительными изображеніями—въ отличіе отъ мнимыхъ или „кажущихся", разобранныхъ нами при плоскомъ зеркалѣ.

Надо замѣтить, что при достаточно близкомъ положеніи точки относительно зеркала (когда именно она находится между зеркаломъ и главнымъ фокусомъ), лучи послѣ отраженія станутъ расходящимися и слѣдов. изображеніе точки—мнимымъ, какъ легко убѣдиться съ помощью чертежа. Но мы не станемъ здѣсь останавливаться на этомъ, а перейдемъ отъ точки къ изображеніямъ предмета.

296. Изображенія, даваемыя вогнутыми сферическими зеркалами, гораздо разнообразнѣе тѣхъ, которыя мы привыкли видѣть въ плоскомъ зеркалѣ. Во-первыхъ, если смотрѣться въ такое зеркало, то можно увидѣть въ немъ болѣе или менѣе увеличенное изображеніе своего лица (см. на рис. 208 изображеніе горящей свѣчи, поставленный достаточно близко противъ зеркала). Но очень просто получить и одно изъ тѣхъ изображеній, которыя можно принять на экранъ. Поставимъ неподалеку отъ зеркала зажженую свѣчу, а дальше за нею — листъ бѣлаго картона; при надлежащихъ положеніяхъ свѣчи и экрана, мы получимъ на послѣднемъ увеличенное опрокинутое изображеніе пламени (рис. 209). При



208.

другихъ положеніяхъ свѣчи и экрана (когда послѣдній ближе къ зеркалу, чѣмъ свѣча) можно будетъ получить и уменьшенное обратное изображеніе пламени.

297. Чтобы объяснить себѣ происхожденіе этихъ изображеній, посмотримъ, гдѣ въ разныхъ случаяхъ будутъ



209.

находиться изображенія отдѣльныхъ точекъ предмета, т. е. вершины отраженныхъ пучковъ свѣта, посылаемаго на зеркало его точками. Положимъ, что стрѣлка AB (рис. 210) есть свѣтящійся или достаточно освѣщенный предметъ, и что онъ помѣщенъ передъ зеркаломъ дальше центра кривизны (C), перпендикулярно къ главной оси. Чтобы опредѣлить мѣсто фокуса точки A, поступимъ по указанному въ § 294 пріему, т. е., проведя чрезъ точки A и C побочную ось, возьмемъ отъ A лучъ параллельный главной оси (верхній изъ двухъ взятыхъ на рисункѣ): отразившись отъ зеркала и пройдя чрезъ главный



210.

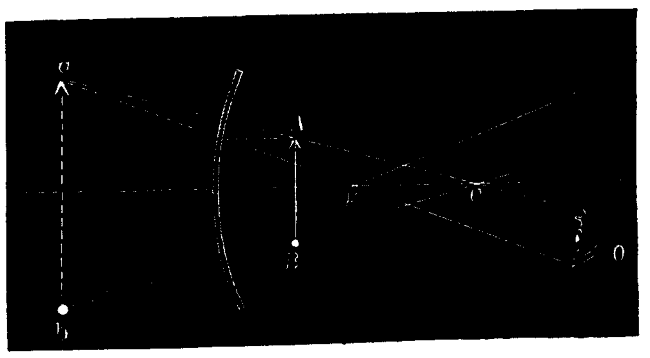
фокусъ (чрезъ средину радіуса), онъ встрѣтится съ побочною осью въ точкѣ *a*, которая и будетъ фокусомъ точки *A*. Точно такъ же найдемъ въ *b* фокусъ точки *B*. Изображенія промежуточныхъ точекъ стрѣлки придутся между *a* и *b*. Получится обратное уменьшенное изображеніе стрѣлки, и ей параллельное, соотвѣтственно тому именно уменьшенному изображенію пламени свѣчи, которое мы принимали на экранъ въ послѣднемъ изъ опытовъ предыдущаго §. (Ради отчетливости, заштрихованные на рис. 210 свѣтовые пучки взяты узкими—хотя въ дѣйствительности они должны бы охватывать собою всю поверхность зеркала—и не обозначено расхожденіе ихъ по ту сторону вершинъ *a*, *b*).

Представимъ себѣ теперь предметъ, свѣтящій или освѣщенный, на мѣстѣ *ab*. Прослѣдивъ ходъ свѣтовыхъ пучковъ, падающихъ изъ *b* и *a* на зеркало, мы увидимъ, что послѣ отраженія первый сойдется въ точкѣ *B*, а второй—въ точкѣ *A* (потому что прежніе углы паденія станутъ теперь углами отраженія и наоборотъ); фокусы промежуточныхъ точекъ упадутъ между *B* и *A*. Произойдетъ обратное увеличенное изображеніе предмета. Принявъ его на поставленный въ плоскости *AB* экранъ, передвинемъ послѣдній немного дальше или ближе: изображеніе тотчасъ потеряетъ ясныя очертанія, станетъ расплывчатымъ, потому что теперь экранъ встрѣчается со свѣтовыми пучками не въ ихъ вершинахъ, а въ болѣе широкихъ ихъ частяхъ. То же произойдетъ, если немного удалимъ или приблизимъ предметъ *ab*, такъ какъ тогда, вслѣдствіе измѣненія угловъ паденія лучей на зеркало, вершины отраженныхъ пучковъ приблизятся къ нему или отодвинутся дальше.

Очень любопытное зрѣлище представляютъ дѣйствительныя изображенія, если наблюдать ихъ не на экранѣ, а въ свободномъ пространствѣ передъ зеркаломъ. Для этого надо помѣстить лицо такъ (на рис. 210 справа отъ *ab*), чтобы въ глаза попадали расходящіеся отъ изображенія свѣтовые пучки (см. также положеніе глаза по отношенію къ фокусу на рис. 207). Обратное изображеніе предмета сперва чудится въ самомъ зеркалѣ; но, сдѣлавъ надъ своимъ зрѣніемъ нѣкоторое усиліе (стараясь не замѣчать зеркала), скоро удается достичь того, что изображеніе выйдетъ впередъ и

представится какъ бы **живымъ** видѣніемъ въ пространствѣ [1].

298. Въ извѣстныхъ положеніяхъ предмета передъ вогнутымъ сферическимъ зеркаломъ, мы получимъ и мнимыя изображенія. Въ самомъ дѣлѣ, помѣстимъ предметъ гдѣ либо между главнымъ фокусомъ и зеркаломъ (рис. 211). Сдѣлавъ построеніе указаннымъ въ пред. § способомъ, напр.



211.

для пучка свѣта отъ точки *A*, мы найдемъ, что пучекъ по отраженіи будетъ расходящимся, и его вершина (*a*) будетъ лежать за зеркаломъ. Помѣщенный передъ зеркаломъ глазъ (одно изъ его положеній представлено на рисункѣ въ *O*) увидитъ мнимое изображеніе предмета—прямое и увеличенное. (Почему его нельзя принять на экранъ подобно дѣйствительнымъ изображеніямъ?).

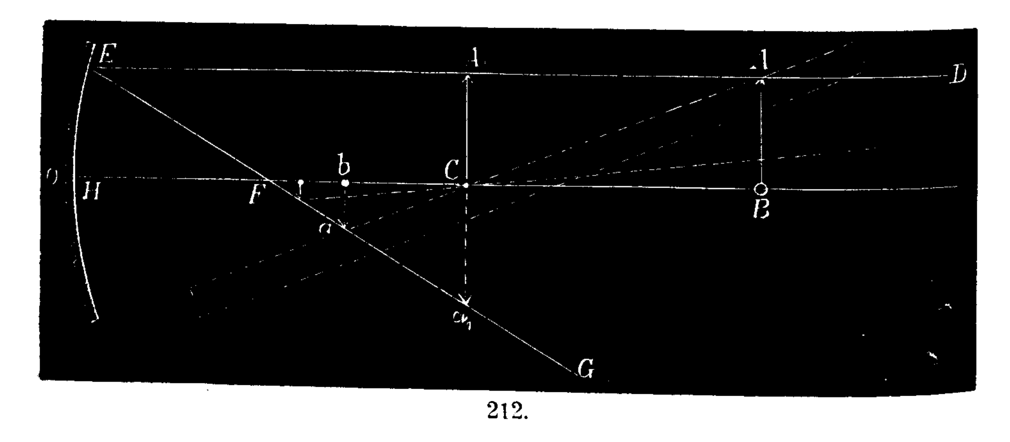
299. Мы разобрали выше три главныхъ (типическихъ) случая изображеній, доставляемыхъ вогнутымъ сферическимъ зеркаломъ: изображенія дѣйствительныя обратныя—уменьшенныя и увеличенныя—и мнимыя прямыя увеличен-

[1] Успѣхъ этого (въ высшей степени интереснаго) опыта зависитъ отъ того или иного пріема наблюденія. Можно напр. подвѣсить зеркало (чѣмъ оно больше, тѣмъ лучше) къ дну глубокаго ящика, поставленнаго на одну изъ меньшихъ боковыхъ сторонъ противъ наблюдателя, лицо или рука котораго должны быть хорошо освѣщены. Послѣдній можетъ тогда видѣть уменьшенное и опрокинутое изображеніе своего лица выходящимъ изъ ящика при достаточномъ къ нему приближеніи; поднося руку, онъ увидитъ протягивающееся къ ней уменьшенное изображеніе руки, которое ему почти что удается схватить своею рукою.

ныя. Родъ изображенія и его мѣсто на главной оси опредѣляются положеніемъ предмета на этой оси и измѣняются съ перемѣщеніемъ предмета. Будетъ ли предметъ самосвѣтящій или освѣщенный—это конечно не важно, и опыты можно дѣлать какъ съ пламенемъ свѣчи, такъ и съ какимъ нибудь просвѣчивающимъ рисункомъ, хорошо освѣтивъ его сзади [1].

300*. Чтобы прослѣдить, как ъ измѣняются мѣсто и величина изображенія при перемѣщеніи предмета по оптической оси, можно воспользоваться слѣдующимъ пріемомъ, который позволяетъ обойтись безъ отдѣльныхъ чертежей для разныхъ частныхъ случаевъ.

Проведемъ главную оптическую ось (рис. 212 и 213) и параллельную ей прямую (лучъ) DE: пусть на этой прямой будетъ

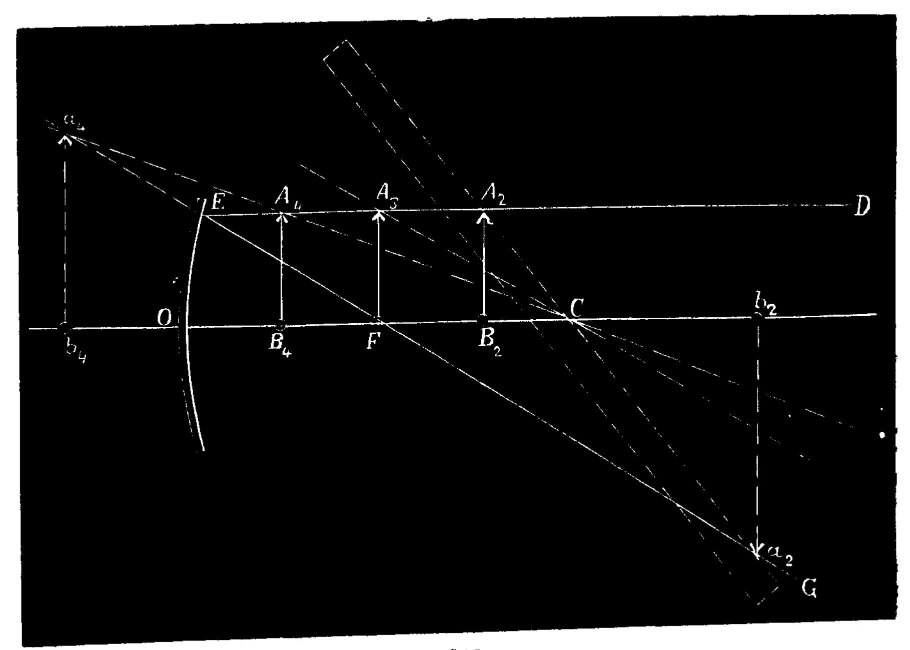


212.

[1] Для опытовъ очень пригодно вогнутое зеркальце отъ употребляемыхъ врачами приборовъ, называемыхъ ларингоскопомъ и офтальмоскопомъ; въ оптическихъ магазинахъ иногда можно дешево достать такія зеркальца отъ старыхъ приборовъ.

При отраженіи звуковыхъ волнъ можно наблюдать—хотя гораздо менѣе отчетливо—явленія сходныя съ описанными выше свѣтовыми. Напр. въ нѣкоторыхъ помѣщеніяхъ со сводчатымъ потолкомъ слабый звукъ, произведенный въ одномъ мѣстѣ, хорошо слышенъ въ другомъ опредѣленномъ мѣстѣ и слабѣе—въ сосѣднихъ точкахъ. Это происходитъ отъ того, что здѣсь собираются звуковыя волны, отраженныя отъ кривой поверхности потолка,—образуется фокусъ звуковыхъ волнъ. Подобное явленіе иногда замѣчается и въ комнатахъ безъ свода; оно можетъ быть довольно непріятно для говорящаго, когда фокусъ звуковыхъ волнъ его собственнаго голоса падаетъ ему на ухо.

оставаться вершина предмета AB (стрѣлки) при перемѣщеніи его вдоль оси. Отмѣтимъ положеніе центра кривизны C и главнаго фокуса F. Если теперь наложимъ на чертежъ линейку такъ, чтобы ребро ея проходило чрезъ вершину стрѣлки (A) и центръ кривизны (C), то точка встрѣчи ребра съ отраженнымъ лучемъ EG покажетъ намъ мѣсто изображенія вершины стрѣлки въ разныхъ разстояніяхъ ея отъ зеркала, а перпендикуляры, проведенные отсюда до встрѣчи съ осью, дадутъ изображенія самой стрѣл-



213.

ки.—Находясь въ положеніи AB (рис. 212), т. е. дальше центра C, предметъ даетъ дѣйствительное обратное уменьшенное изображеніе ab—случай, уже разобранный нами. По мѣрѣ удаленія предмета, его изображеніе все уменьшается и приближается къ главному фокусу (см. рис.), а съ приближеніемъ предмета—увеличивается (оставаясь однако меньше самаго предмета) и приближается къ центру C. Когда нижняя точка стрѣлки совпадаетъ съ центромъ (положеніе A_1C), ребро линейки, проходящее чрезъ A_1 и C, будетъ перпендикулярно оси: предметъ и изображеніе лежатъ въ одной плоскости перпендикулярной къ оси; по величинѣ же изображеніе можно теперь считать равнымъ предмету, потому что Ca_1 почти равно EH [1]. Слѣдовательно,

[1] Такъ какъ, согласно общему условію, дуга OE составляетъ лишь малую часть полной окружности, то HF очень мало отличается отъ OF т. е. HF и FC почти равны между собою.

когда предметъ приближается съ безпредѣльно большого разстоянія до центра C, его изображеніе остается между главнымъ фокусомъ и центромъ.

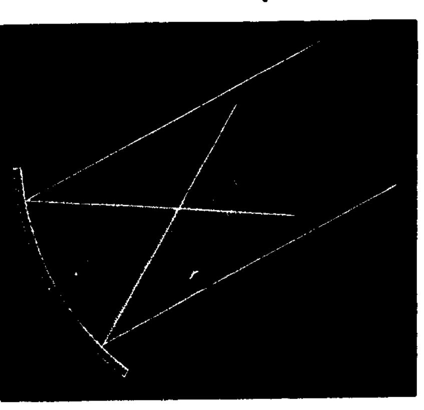
Когда предметъ ближе центра (положеніе A_2B_2 рис. 213), ребро линейки встрѣтитъ лучъ EG *по ту сторону центра*: изображеніе (a_2b_2) будетъ дѣйствительное обратное *увеличенное*. Чѣмъ ближе предметъ къ главному фокусу (F), тѣмъ его изображеніе больше и дальше за центромъ (C).

Если помѣстить стрѣлку нижней точкою въ главный фокусъ (положеніе A_3E), то ребро линейки (A_3C), можно будетъ считать параллельнымъ отраженному лучу EG (потому что CF параллельно и почти равно A_3E); слѣдовательно изображенія не получится (или, какъ говорятъ, оно отодвинется на безпредѣльно большое разстояніе).

Когда наконецъ предметъ помѣстится ближе главнаго фокуса (положеніе A_4B_4), ребро линейки встрѣтится съ лучемъ EG лишь по *продолженіи* послѣдняго (геометрически) за зеркало; этимъ опредѣлится положеніе мнимаго фокуса (a_4), соотвѣтствующаго вершинѣ стрѣлки: изображеніе будетъ *мнимое прямое увеличенное*.

301. Лучи отъ *раскаленнаго источника*, отраженные зеркаломъ, производятъ вмѣстѣ со свѣтовымъ и *тепловое* дѣйствіе. Если напр. яркіе *солнечные лучи* послѣ отраженія отъ плоскаго зеркала принять на щеку, то получается очень явственное ощущеніе тепла. *Сосредоточивая* въ одномъ мѣстѣ солнечные лучи, отраженные отъ нѣсколькихъ зеркалъ (отъ нѣсколькихъ полосокъ разрѣзаннаго на части зеркала), можно получить еще болѣе значительное повышеніе температуры. Съ помощью достаточнаго числа зеркалъ можно было бы на большомъ разстояніи *зажечь дерево* или другой легко воспламеняющійся матерьялъ.

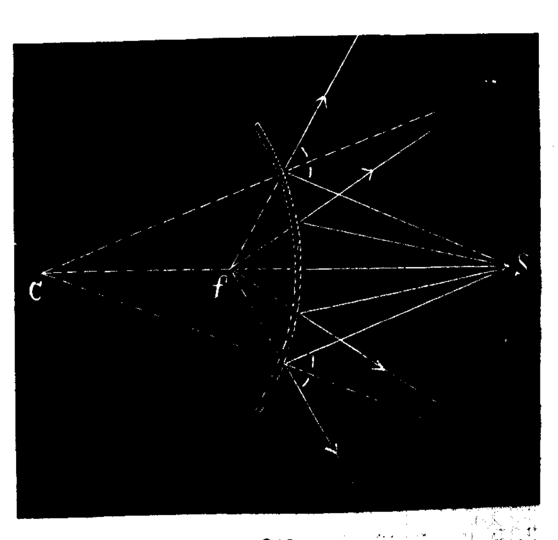
Сосредоточиваніе теплового дѣйствія отраженіемъ лучей еще лучше достигается помощью *вогнутаго сферическаго зеркала*. Направивъ на него солнечные лучи вдоль главной оси и передвигая противъ зеркала (въ перпендикулярномъ къ оси положеніи) небольшой кусокъ бумаги, мы легко получимъ дѣйствительное изображеніе солнца—маленькій, рѣзко очерченный ослѣпительно яркій кружокъ. (Каково положеніе этого изображенія относительно главнаго фокуса зеркала? Какъ съ помощью солнечныхъ лучей опредѣлить мѣсто главнаго фокуса?). Здѣсь сосредоточивается и *очень усиливается тепловое дѣйствіе солнечныхъ лучей*. Въ „фокусѣ солнечныхъ лучей“ нетолько легко загораются бумага, матеріи (въ особенности черныя), но при достаточныхъ размѣрахъ зеркала могутъ плавиться трудноплавкія тѣла. Примѣненіемъ надлежащихъ зеркалъ можно вскипятить воду въ котлѣ и привести въ дѣйствіе паровую машину.—Въ комнатномъ воздухѣ, благодаря носящимся въ немъ пылинкамъ, схожденіе солнечныхъ лучей, отраженныхъ вогнутымъ сферическимъ зеркаломъ, хорошо прослѣживается глазомъ (нѣкоторое понятіе даетъ рис. 214).



214.

Усиленіе теплового дѣйствія въ фокусѣ лучей можно наблюдать и съ помощью искусственныхъ раскаленныхъ источниковъ свѣта, напр. электрическаго фонаря.

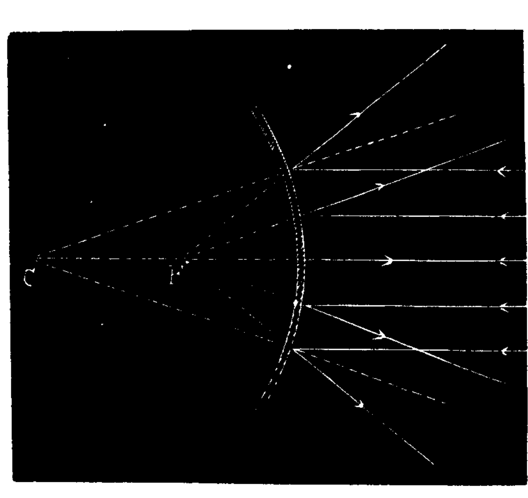
302. Остается еще сказать нѣсколько словъ о *выпукломъ сферическомъ зеркалѣ*. Чертежъ покажетъ намъ, что въ этомъ случаѣ, какъ лучи, падающіе на зеркало изъ точки S (рис. 215), такъ и параллельные главной оптической оси (рис. 216), по отраженіи отъ зеркала будутъ *расходящимися*. (См. также выше рис. 205). Слѣдовательно такое зеркало даетъ только мнимые фокусы точекъ, *мнимыя изображенія*. Построеніемъ вродѣ того, которымъ мы только что пользовались, легко было бы убѣдиться, что мнимыя изобра-



215.

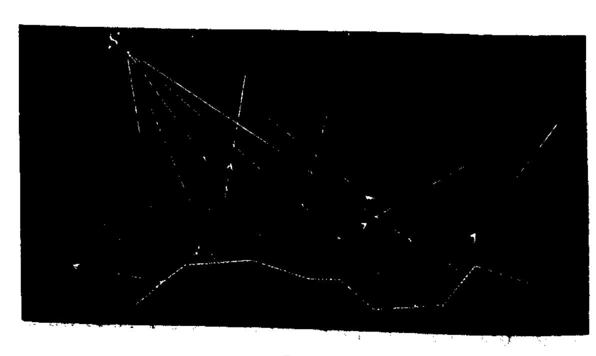
женія въ выпукломъ сферическомъ зеркалѣ всегда **прямыя и уменьшенныя**. По весьма понятной причинѣ выпуклыя сферическія зеркала называются еще **разсѣевающими**.

303*. Многія изъ нашихъ домашнихъ вещей имѣютъ полированныя, слѣдов. зеркальныя поверхности, выпуклыя и вогнутыя. Онѣ обыкновенно тоже даютъ изображенія предметовъ. Эти изображенія однако рѣдко бываютъ правильны. Бóльшія или меньшія искаженія (доходящія до смѣшного) зависятъ отъ того, что упомянутыя кривыя поверхности вообще не имѣютъ сферической формы и даютъ отраженнымъ лучамъ иныя направленія, чѣмъ зеркала сферическія, хотя отражаютъ свѣтъ конечно по тѣмъ же законамъ.


216.

Отраженіе свѣтовыхъ лучей отъ шероховатыхъ поверхностей.

304*. Шероховатую поверхность можно вообразить себѣ состоящею изъ множества чрезвычайно маленькихъ отражающихъ площадокъ, имѣющихъ разнообразнѣйшія направленія. Въ сильно увеличенномъ видѣ она представилась бы чѣмъ-либо вродѣ рис. 217 (такова напр. снѣжная по-



217.

верхность, образуемая гранями ледяныхъ кристалликовъ) или рис. 218. Если мы возьмемъ нѣсколько лучей, падающихъ на разныя части поверхности изъ точки S (рис. 217) и, вообразивъ перпендикуляры къ площадкамъ, построимъ отраженные лучи, то сейчасъ увидимъ, что лучи эти безъ всякой правильности разбрасываются или **разсѣиваются** по различнѣйшимъ направленіямъ. Вотъ причина, почему шероховатыя поверхности не даютъ изображеній предметовъ, хотя бы и отражали много свѣта къ глазу (бѣлая стѣна, снѣжная поверхность). Параллельные лучи солнца, падая на такую поверхность, также разсѣиваются въ разныя стороны (рис. 218); это одна изъ причинъ разсѣяннаго дневного свѣта.


218.

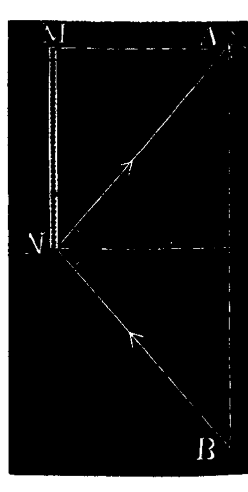
Всякое полированное плоское зеркало имѣетъ въ дѣйствительности очень **мелко-бороздчатую** поверхность, такъ какъ полировка производится треніемъ о мелкій твердый порошокъ (наждакъ и т. п.), т. е. о твердыя тѣла, имѣющія нѣкоторые, хотя и очень малые размѣры. Слѣдовательно такое зеркало тоже должно разсѣевать нѣкоторую долю свѣта при отраженіи. Но эта доля весьма мала сравнительно съ тою, которая отражается въ совершенно опредѣленныхъ направленіяхъ и которая именно даетъ начало мнимымъ изображеніямъ въ зеркалѣ. Вотъ почему мы обыкновенно **не видимъ самой поверхности зеркала**. Но если она запылена или загрязнена, то, вслѣдствіе отраженія свѣта пылинками или другими приставшими къ зеркалу частичками, **поверхностное разсѣиваніе** лучей усиливается, и мы тогда видимъ зеркальную поверхность.

Количество „разсѣяннаго“ и „правильно отраженнаго“ свѣта измѣняется съ измѣненіемъ угла паденія лучей на плоскость. Если держать кусокъ писчей бумаги горизонтально у пламени

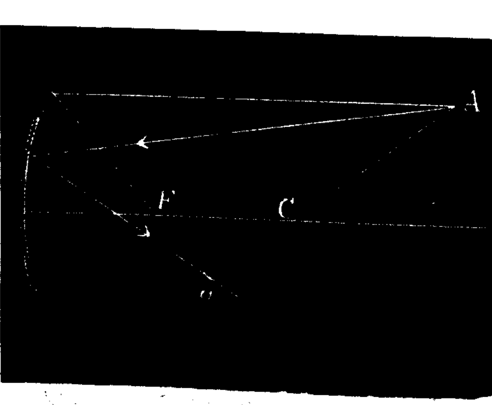
свѣчи такъ, чтобы свѣтъ его падалъ на бумагу очень косвенно, то, помѣстивъ глазъ надлежащимъ образомъ, можно будетъ видѣть въ бумагѣ явственное зеркальное изображеніе пламени. Отсюда можно заключить, что количество правильно отраженнаго свѣта тѣмъ больше, чѣмъ косвеннѣе лучи падаютъ на плоскость.

---

282. При какомъ углѣ паденія луча на зеркало отраженный лучъ образуетъ ***прямой уголъ*** съ падающимъ?—**285**. Передъ вертикально висящимъ зеркаломъ MN (рис. 219) стоитъ человѣкъ, котораго глаза (A) находятся на одной высотѣ съ верхнимъ краемъ зеркала, а ноги—въ B. Какой высоты (MN) должно быть зеркало сравнительно съ AB, чтобы стоящій передъ зеркаломъ могъ видѣть себя въ немъ до самыхъ ногъ? *Отв.* Высота MN должна равняться половинѣ AB (см. рис. 219).—Отчего изображеніе предмета (напр. пламени свѣчи) въ оконномъ стеклѣ, вообще весьма слабое, становится свѣтлѣе, если обратить заднюю сторону стекла къ темному пространству или покрыть ее черной бумагой? *Отв.* Оно ***кажется*** свѣтлѣе, п. ч. въ глазъ попадаетъ сквозь стекло меньше посторонняго свѣта.—**287**. Можетъ ли S_2 дать изображеніе въ I зеркалѣ при условіяхъ рисунка 195? *Отв.* Прямая, проведенная отъ S_2 къ крайней слѣва границѣ D зеркала II, не встрѣчается съ I зеркаломъ (приложить линейку). Но это могло бы случиться, если бы напр. зеркала были длиннѣе или были бы наклонены подъ меньшимъ угломъ другъ къ другу.—**294**. Для построенія изображенія точки мы пользуемся лучемъ параллельнымъ главной оси; какъ воспользоваться для той же цѣли лучемъ данной точки, проходящимъ чрезъ ***главный фокусъ***?—Какъ построить изображеніе точки A (рис. 220), если необходимые для построенія лучи не встрѣчаются съ зеркаломъ? Почему позволительно представить себѣ зеркало продолженнымъ по шаровой поверхности (см. рис. 220), и какая ошибка дѣлается при значительномъ продолженіи его въ сторону отъ главной оптической оси? (См. стр. 310). — Получится ли изображеніе, если тѣ лучи, которыми мы пользуемся *для построенія*, будутъ заслонены непрозрачнымъ предметомъ?—**300**. Какимъ образомъ, получивъ на кускѣ картона изображеніе очень удаленнаго предмета (напр. солнца), опредѣлить ***радіусъ кривизны*** вогнутаго сферическаго зеркала?—**303**. Какого вида должны быть—въ общихъ чертахъ—изображенія предметовъ въ выпуклой ***цилиндрической*** поверхности (выпукломъ цилиндрическомъ зеркалѣ)? *Отв.* Размѣры изображеній будутъ сокращаться въ поперечномъ къ длинѣ цилиндра направленіи.—**304**. Видимъ ли мы „зеркальныя изображенія" только въ такихъ поверхностяхъ, которыя посылаютъ много отраженнаго свѣта нашему глазу? Почему мы не видимъ изображеній въ поверхности бѣлой стѣны или снѣга и видимъ ихъ въ хорошо отполированной черной поверхности, какова напр. крышка рояля?



219.



220.

XVIII.

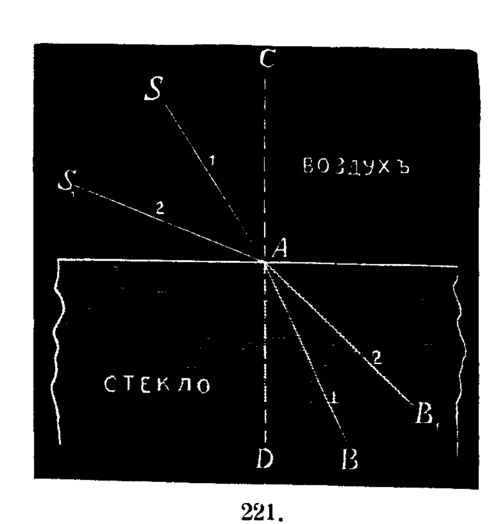
О преломленіи свѣта и оптическихъ стеклахъ.

Простѣйшія явленія преломленія свѣтовыхъ лучей.

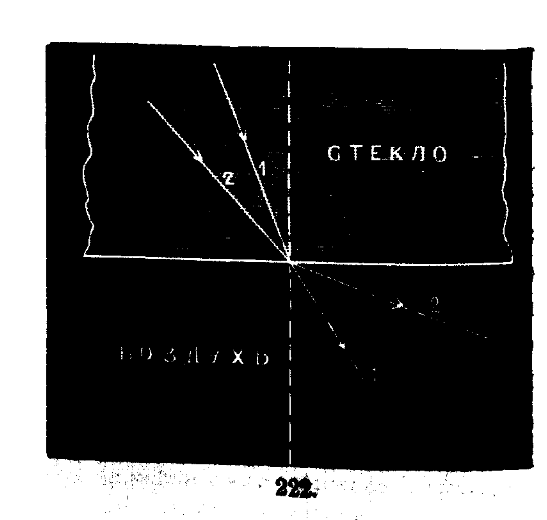
305*. Не считая нѣкоторыхъ исключительныхъ случаевъ, можно вообще сказать, что на границѣ двухъ срединъ (см. это выраженіе въ § 265) свѣтовые лучи раздѣляются: часть свѣта возвращается въ первую среду—отражается, а другая проникаетъ во вторую среду и при этомъ измѣняетъ свое направленіе, преломляется, если только лучи не падаютъ перпендикулярно къ разграничивающей поверхности: тогда преломленія нѣтъ. Разсмотримъ сперва преломленіе свѣта при переходѣ лучей изъ воздуха въ стекло и въ воду или обратно [1].

[1] Надо замѣтить, что явленія преломленія вообще гораздо разнообразнѣе и сложнѣе, чѣмъ явленія отраженія. То, что излагается въ этой главѣ, относится лишь до простѣйшихъ случаевъ, знакомство съ которыми необходимо для объясненія нѣкоторыхъ часто встрѣчающихся явленій и для пониманія тѣхъ началъ, на которыхъ основывается устройство главнѣйшихъ оптическихъ приборовъ.

Рис. 221 изображаетъ, какъ происходитъ самое явленіе [1]. Лучъ, имѣвшій въ воздухѣ направленіе SA, при переходѣ въ стекло или воду измѣняетъ свое направленіе такъ, что приближается къ перпендикуляру CD, проведенному къ разграничивающей плоскости въ точкѣ паденія. Уголъ SAC между падающимъ лучомъ и перпендикуляромъ есть уголъ паденія; уголъ же BAD, составленный преломленнымъ лучомъ съ перпендикуляромъ, называется угломъ преломленія луча.—Бóльшему углу паденія S_1AC соотвѣтствуетъ и бóльшій уголъ преломленія B_1AD; но уголъ B_1AD опять меньше угла паденія S_1AC. При переходѣ луча изъ воздуха въ стекло или въ воду, уголъ преломленія всегда меньше угла паденія, — кромѣ того конечно случая, когда лучъ падаетъ перпендикулярно къ разграничивающей поверхности: тогда оба угла равны нулю. Далѣе, преломленный лучъ остается въ той же самой плоскости, въ которой лежатъ падающій и перпендикуляръ AC. Это обстоятельство позволяетъ намъ здѣсь, какъ



221.



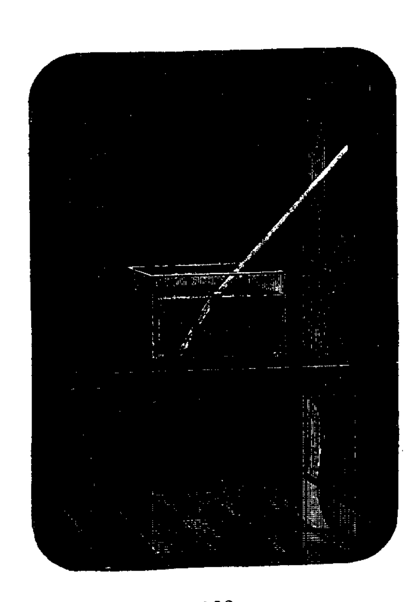
222.

[1] Чтобы не усложнять этого и нѣкоторыхъ слѣд. рисунковъ, отраженные лучи на нихъ не изображены.

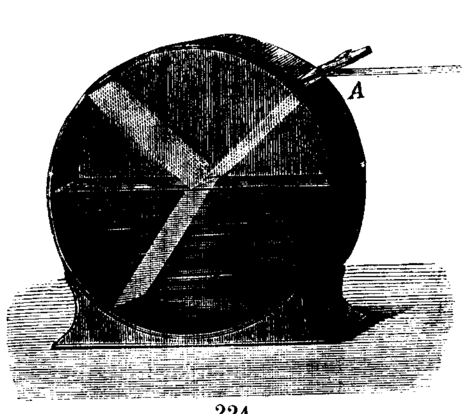
и при отраженіи, обходиться безъ перспективныхъ рисунковъ, а изображать все явленіе въ плоскости бумаги, что и сдѣлано на рис. 221.

Въ случаѣ перехода луча изъ стекла или воды въ воздухъ, ходъ его обратный предыдущему (см. тотъ же рисунокъ): лучъ BA пошелъ бы въ воздухѣ по направленію AS, а лучъ B_1A по направленію AS_1. Слѣдовательно въ этомъ случаѣ уголъ преломленія больше угла паденія, что представлено и на отдѣльномъ рис. 222.

306. На опытѣ направленіе падающаго и преломленнаго лучей нагляднѣе всего прослѣживается съ помощью свѣтового слѣда ихъ въ пыльномъ или задымленномъ воздухѣ и мутной водѣ или же по слѣду на бѣлой бумагѣ, на которую лучи падаютъ вскользь (объ этомъ общемъ пріемѣ прослѣживанія хода лучей упоминалось выше, § 270). Преломленіе солнечнаго луча въ водѣ (слегка мутной) можно наблюдать безъ всякихъ особенныхъ приспособленій, какъ видно изъ рис. 223. На рис. 224 изображенъ приборъ, состоящій изъ цилиндрической коробки, закрытой спереди стекломъ; въ верхней половинѣ ея находится задымленный воздухъ, а въ нижней—слегка мутная вода. Сквозь щель A при помощи зеркальца пропускаютъ въ приборъ пучекъ сильнаго свѣта, солнечнаго или электрическаго; тогда хорошо



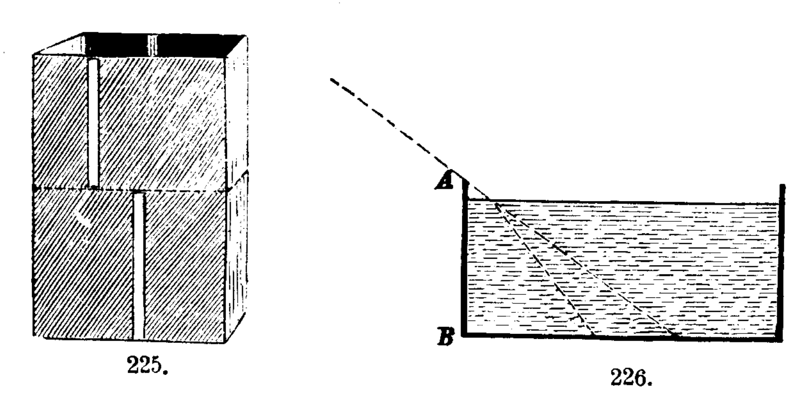
223.



224.

видно, какъ полоса свѣта, упавъ на поверхность воды, дѣлится на двѣ части—отраженную и преломленную.

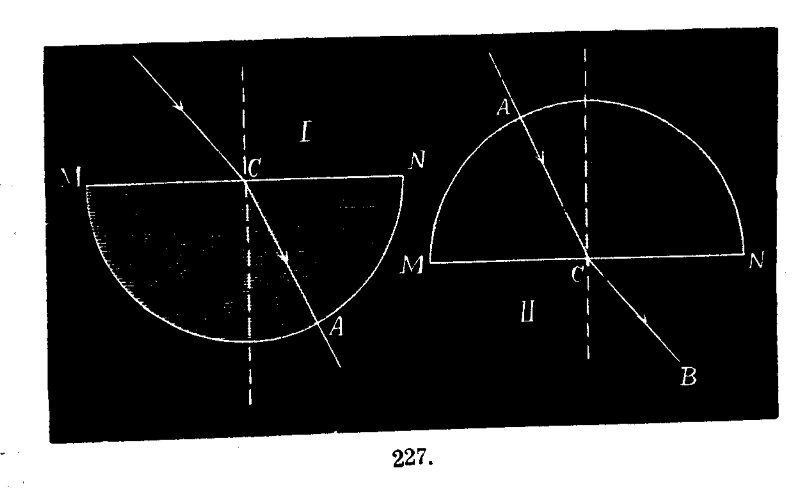
Преломленіе лучей при переходѣ изъ воздуха въ воду, если не имѣется въ распоряженіи сильнаго свѣтового источника, можно весьма просто наблюдать слѣдующимъ образомъ. Берутъ прямоугольный плоскій сосудъ (плоскостѣнную аптечную склянку) и оклеиваютъ одну изъ болѣе широкихъ сторонъ его черной бумагой, въ которой дѣлаютъ сверху внизъ узкій прорѣзъ, а другую покрываютъ просвѣчивающей (копировальной или промасленной) бумагой (рис. 225). Наливъ сосудъ до половины водою, пропускаютъ въ него сквозь прорѣзъ въ черной бумагѣ свѣтъ лампы или свѣчи (поставленныхъ не очень близко). При перпендикулярномъ паденіи лучей на стѣнку, увидимъ на противоположной сторонѣ сосуда сплошной свѣтлый слѣдъ прошедшаго сквозь щель пучка. Но, направляя лучи на прорѣзъ косвенно, замѣтимъ раздвоеніе слѣда, которое ясно покажетъ намъ, что прошедшая сквозь воду (нижняя) часть пучка уклонилась отъ первоначальнаго своего направленія (въ воздухѣ) въ сторону перпендикуляра къ стѣнкѣ сосуда (см. рисунокъ).



225. 226.

Возьмемъ еще прямоугольный картонный ящикъ и замѣтимъ на его днѣ границу тѣни отъ стѣнки *AB* при косвенномъ паденіи свѣта лампы или солнечныхъ лучей (рис. 226). Наливъ ящикъ водою, увидимъ (смотря отвѣсно сверху), что граница тѣни отодвинулась въ сторону стѣнки *AB*. (Чтобы сдѣлать ящикъ менѣе проницаемымъ для воды, покрываютъ его изнутри лакомъ).

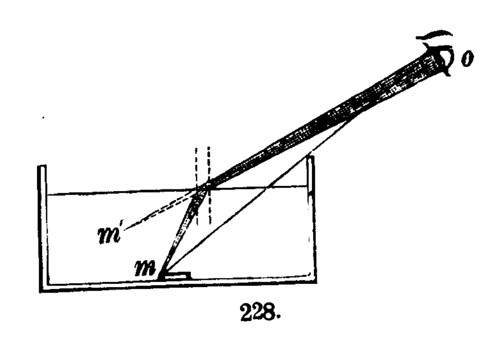
Чтобы наблюдать преломленіе въ стеклѣ, берутъ кусокъ стекла полуцилиндрической формы и помѣщаютъ его на пути узкаго свѣтлаго слѣда лучей на бумагѣ такъ, какъ показываетъ рис. 227 I (если смотрѣть сверху). На границѣ *MN* наблюдается преломленіе. Въ мѣстѣ выхода лучей (*A*) изъ стекла въ воздухъ преломленія нѣтъ, потому что лучъ *CA* направленъ по радіусу цилиндрической поверхности *MAN*, — радіусъ же соотвѣтствуетъ перпендикуляру въ точкѣ *A*. Если повернуть полуцилиндрическое стекло такъ, чтобы лучъ падалъ по направленію радіуса въ *A*



227.

(рис. 227 II), то при выходѣ изъ стекла въ воздухъ (при *C*) онъ удалится отъ перпендикуляра.

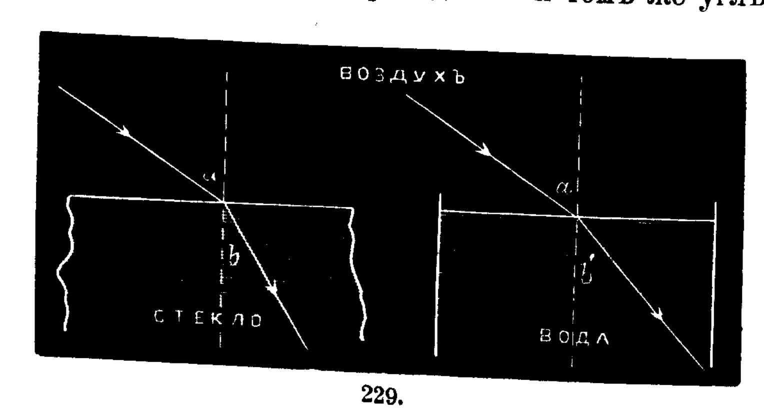
307. Преломленіе свѣта вообще сказывается цѣлымъ рядомъ явленій, которыя можно замѣтить, смотря на предметы напр. сквозь слой воды. Положеніе и форма предметовъ, находящихся подъ водою, очень часто представляются измѣненными противъ дѣйствительности. Положимъ на дно чайной чашки монету и помѣстимъ нашъ глазъ такъ, чтобы монета скрылась за стѣнкою чашки. Если потомъ нальемъ въ чашку воды, то увидимъ монету какъ бы приподнятою. Выходящіе въ воздухъ лучи именно удаляются отъ перпендикуляра и попадаютъ въ глазъ такъ, какъ если бы шли отъ точекъ, лежащихъ выше дѣйствительныхъ. Для одной точки это представлено на рис. 228: изъ него видно, что вершина свѣтового пучка, достигающаго глаза отъ точки *m*, будетъ на-



228.

ходиться въ *m'*, выше *m*. Глазъ нашъ въ сущности видитъ не монету, а ея мнимое изображеніе. Точно такъ же объясняется, почему палка, опущенная въ воду, можетъ показаться переломленною у поверхности воды: всѣ части палки подъ водою представляются глазу болѣе или менѣе приподнятыми. Чайная ложка въ стаканѣ съ водою, если надлежащимъ образомъ смотрѣть со стороны, кажется раздвоившеюся у поверхности воды. Когда мы смотримъ сквозь воду на дно, мы видимъ слой воды менѣе глубокимъ, чѣмъ въ дѣйствительности (напр. дно наполненнаго водою бѣлаго ведра кажется замѣтно приподнятымъ). Вещи, разсматриваемыя сквозь склянку или графинъ съ водою, кажутся иной формы и на другомъ мѣстѣ, чѣмъ на самомъ дѣлѣ. И т. д.

308. Одинаково ли преломляется свѣтовой лучъ при переходѣ изъ воздуха въ стекло и въ воду? Опытъ показываетъ, что нѣтъ: въ стеклѣ онъ нѣсколько больше уклоняется отъ своего первоначальнаго направленія, чѣмъ въ водѣ. Это значитъ, что при одномъ и томъ же углѣ па-

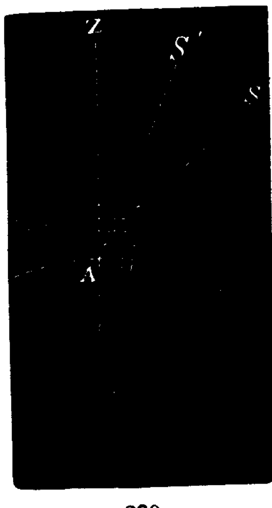


229.

денія луча (*a*) на стекло и на воду (рис. 229), уголъ преломленія въ стеклѣ (*b*) всегда меньше, чѣмъ уголъ (*b'*) преломленія въ водѣ. (На рисункѣ для ясности разница нѣсколько усилена противъ дѣйствительности). Преломляющая способность стекла больше, нежели воды. При обратномъ ходѣ луча, т. е. изъ стекла или воды въ воздухъ, уклоненіе луча отъ первоначальнаго направленія тоже будетъ больше въ первомъ случаѣ, чѣмъ во второмъ.

При переходѣ лучей изъ воздуха во многія другія прозрачныя тѣла,—изъ которыхъ назовемъ каменную соль, ледъ, алмазъ, спиртъ, бензинъ и др.,—наблюдается также уклоненіе луча въ сторону перпендикуляра (т. е. уголъ преломленія меньше угла паденія). Но по „преломляющей способности“ разныя тѣла значительно отличаются другъ отъ друга. Различія въ этомъ отношеніи наблюдаются и у стекла разныхъ сортовъ (разнаго состава). Наибольшая преломляющая способность изъ всѣхъ названныхъ тѣлъ свойственна алмазу.

309. Свѣтовые лучи преломляются также, когда попадаютъ изъ мірового пространства въ земную атмосферу. Уклоняясь больше и больше по мѣрѣ перехода въ болѣе плотные воздушные слои, лучи описываютъ въ атмосферѣ криволинейный путь (рис. 230) и подъ конецъ попадаютъ въ нашъ глазъ (*A*) въ нѣсколько измѣненномъ противъ первоначальнаго направленіи. Хотя уклоненіе ихъ и незначительно (на рисункѣ оно представлено въ очень усиленномъ видѣ), тѣмъ не менѣе, строго говоря, наблюдатель видитъ небесныя тѣла не въ тѣхъ мѣстахъ небеснаго свода, на которыхъ они находятся въ дѣйствительности,—конечно кромѣ стоящихъ прямо надъ нашей головою, въ зенитѣ (*Z*), ибо лучи, идущіе отвѣсно, т. е. по направленію радіуса атмосферныхъ слоевъ, не преломляются. Наибольшей величины это „атмосферное преломленіе“ достигаетъ для свѣтилъ, находящихся у самаго горизонта: тогда свѣтило кажется на $^1/_2$° выше своего дѣйствительнаго положенія, т. е. приблизительно на видимую величину диска солнца или луны. (Уголъ, составляемый прямыми, проведенными къ глазу отъ двухъ противоположныхъ краевъ этого диска, мало отличается отъ полуградуса). Отсюда выходитъ между прочимъ одно очень интересное слѣдствіе. Когда намъ кажется, что напр. солнце на закатѣ коснулось нижнимъ краемъ плоскости горизонта,

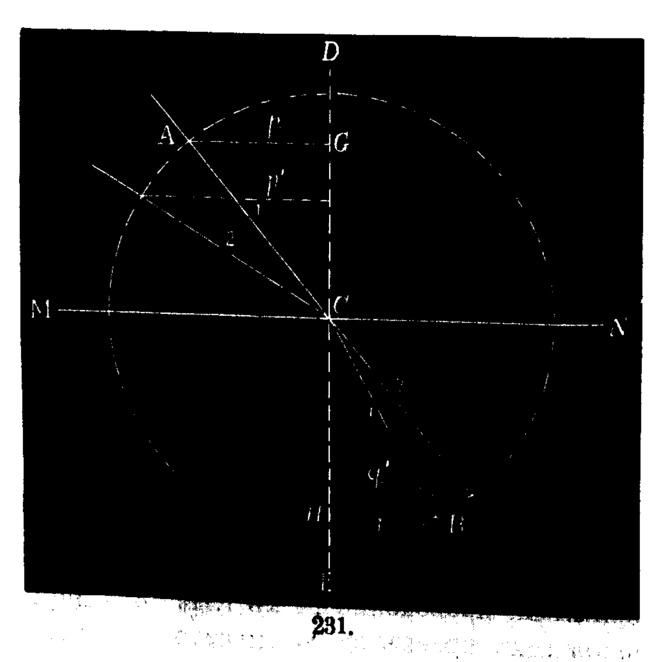


230.

оно въ дѣйствительности находится уже подъ горизонтомъ и безъ атмосфернаго преломленія не могло бы быть видимо глазъ нашъ видитъ тогда не самое солнце, а его **мнимое изображеніе**.—Сплющенная форма заходящаго солнца также есть слѣдствіе атмосфернаго преломленія.

Изъ предыдущаго ясно, какъ важно для правильнаго сужденія о положеніи и формѣ предметовъ то обстоятельство, что окружающій насъ воздухъ есть вообще среда довольно однородная. Какіе поразительные обманы зрѣнія могутъ происходить при значительныхъ нарушеніяхъ однородности воздуха (именно вслѣдствіе неравномѣрнаго нагрѣванія), лучше всего свидѣтельствуютъ т. наз. **миражи**. Если бы однородность воздуха часто и сильно нарушалась, то мы были бы окружены непрерывными оптическими обманами, миражами; трудно представить себѣ, какова была бы наша жизнь при такихъ условіяхъ.

310. Выше было упомянуто, что уклоненіе луча при переходѣ изъ одной какой-либо среды, положимъ изъ воздуха, въ разныя другія—не одинаково. Но какъ велико именно уклоненіе луча



231.

въ томъ или другомъ случаѣ? Нельзя ли впередъ указать направленіе луча послѣ преломленія, если намъ данъ уголъ его паденія на поверхность стекла, воды и пр.? На это отвѣчаетъ **законъ**,

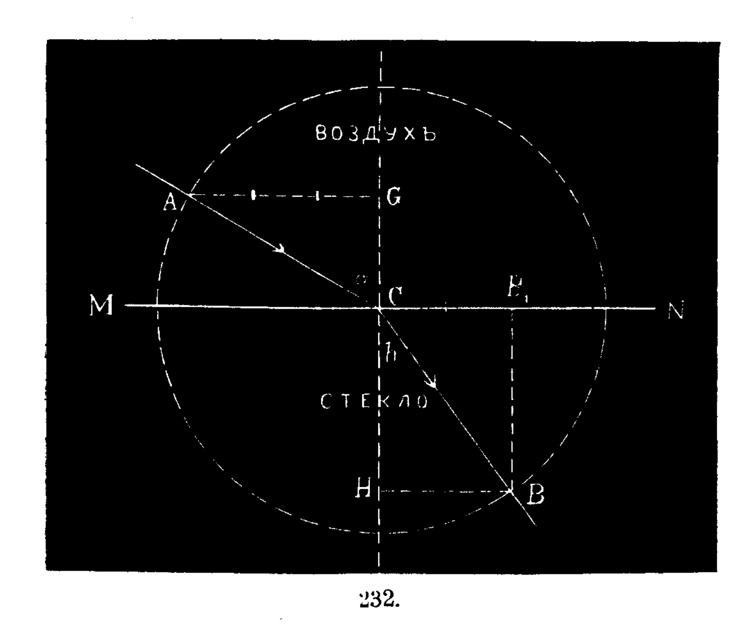
связывающій между собою величину угловъ паденія и преломленія. Нѣкоторое понятіе о немъ, достаточное
для многихъ цѣлей, дадутъ намъ нижеслѣдующіе чертежи. Пусть
на плоскость MN (рис. 231), разграничивающую **твердую или**
жидкую прозрачную среду отъ воздуха, въ точкѣ C па-
даетъ лучъ по направленію AC и, преломившись, идетъ по CB.
Проведемъ прямую DE перпендикулярно MN и опишемъ изъ точки
C, какъ центра, произвольнымъ радіусомъ окружность. Изъ точекъ
пересѣченія ея (A и B) съ лучами падающимъ и преломленнымъ
опустимъ перпендикуляры (AG и BH) на DE. Опытъ показы-
ваетъ, что подъ какимъ бы угломъ ни падалъ лучъ, **отноше-**
ніе длины проведенныхъ такимъ образомъ пер-
пендикуляровъ остается одно и то же для каждой
средины. Напр., если лучъ идетъ изъ воздуха въ обыкновенное
стекло (того сорта, которое называется зеркальнымъ стекломъ), то
перпендикуляръ p (круглымъ счетомъ) въ $1\frac{1}{2}$ раза больше соотвѣт-
ствующаго перпендикуляра q, т. е. отношеніе $\frac{p}{q} = \frac{3}{2}$. Если по-
строимъ указаннымъ способомъ перпендикуляры для другой пары
угловъ паденія и преломленія, то отношеніе перпендикуляровъ
будетъ то же самое, т. е. $\frac{p'}{q'} = \frac{3}{2}$. При переходѣ лучей изъ
воздуха **въ воду** отношеніе перпендикуляровъ $= \frac{4}{3}$, въ ал-
мазъ $\frac{5}{2}$ и т. п. Получаемыя такимъ образомъ числа называются
показателями преломленія стекла, воды и пр. и
служатъ мѣрою „преломляющей способности“ твердыхъ и жид-
кихъ прозрачныхъ срединъ [1].

Теперь положимъ, что лучъ AC падаетъ на **стекло** подъ
заданнымъ угломъ a (рис. 232), и требуется начертить ходъ пре-
ломленнаго луча. Опишемъ около C, какъ центра, окружность и
проведемъ соотвѣтствующій данному углу перпендикуляръ AG.
Чтобы рѣшить вопросъ, надо построить уголъ преломленія (b)
такой величины, чтобы перпендикуляръ BH составлялъ $^2/_3$ пер-
пендикуляра AG. Раздѣливъ AG на **три** равныхъ части, отло-
жимъ **двѣ** такихъ части по CN отъ C и изъ полученной точки
B_1 проведемъ перпендикуляръ къ CN до встрѣчи его съ окруж-
ностью въ точкѣ B. Соединивъ затѣмъ B съ C, найдемъ требуемое
направленіе преломленнаго луча, потому что $\frac{AG}{BH} = \frac{3}{2}$. Вотъ
какимъ образомъ, зная показатель преломленія твердой или

[1] Точное опредѣленіе показателя преломленія предполагаетъ,
что лучи падаютъ въ средину не изъ воздуха, а изъ „пустоты“;
но въ случаѣ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ различіе въ результатахъ
очень мало, и здѣсь можно ограничиться лишь указаніемъ на то, что
оно существуетъ.

жидкой среды, мы можемъ по данному углу паденія, съ достаточною для насъ точностью, опредѣлить направленіе преломленнаго луча.

Послѣ сказаннаго можно описать явленіе преломленія въ болѣе общемъ видѣ, чѣмъ это было сдѣлано вначалѣ (§ 305). Лучи могутъ идти не только изъ воздуха въ которую-нибудь изъ названныхъ выше срединъ, но напр. изъ воды въ стекло, изъ бензина въ воду и т. п. При переходѣ изъ среды менѣе преломляющей въ болѣе преломляющую лучъ отклоняется въ сторону перпендикуляра, проведеннаго къ разграничивающей поверхности въ точкѣ паденія, т. е.

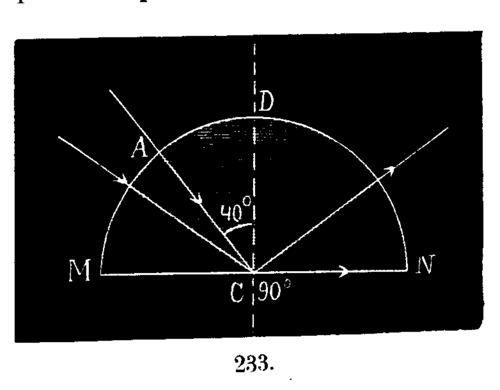


232.

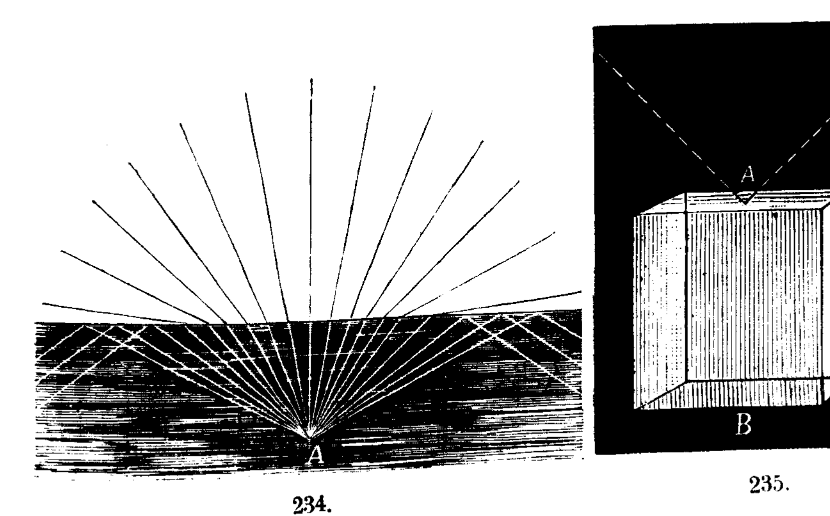
уголъ преломленія меньше угла паденія; при обратномъ переходѣ лучъ удаляется отъ перпендикуляра, т. е. уголъ преломленія больше угла паденія. Мѣрою преломляющей способности твердаго или жидкаго прозрачнаго тѣла, какъ объяснено выше, можетъ служить показатель преломленія его относительно воздуха.

311. При переходѣ свѣта изъ среды болѣе преломляющей въ менѣе преломляющую можетъ произойти одно очень любопытное явленіе. Пусть напр. свѣтовые лучи, пройдя сквозь полуцилиндрическое стекло, выходятъ изъ стекла въ воздухъ (см. выше рис. 227 II). Падающему лучу AC соотвѣтствуетъ преломленный CB; нѣкоторая доля свѣта конечно отражается, и идетъ обратно внутрь стекла (отраженный лучъ не изображенъ, чтобы не усложнять рисунка). Если станемъ постепенно увеличивать уголъ паденія луча на поверхность MN, то замѣтимъ—по относительной яркости свѣтовыхъ полосокъ—

что количество проходящаго (преломленнаго) свѣта все уменьшается, а количество отраженнаго — увеличивается. Такъ какъ уголъ преломленія въ этомъ случаѣ всегда больше угла паденія (надо еще замѣтить, что первый возрастаетъ значительно быстрѣе второго), то можно представить себѣ такое направленіе падающаго луча (AC рис. 233), при которомъ уголъ преломленія достигаетъ 90°, т. е. преломленный лучъ пойдетъ по разграничивающей поверхности (по CN). Если еще увеличить уголъ паденія, то, какъ показываетъ опытъ, лучъ вовсе не проникнетъ изъ стекла въ воздухъ, а сполна отразится обратно, внутрь стекла. Явленіе это называется полнымъ внутреннимъ отраженіемъ, а уголъ паденія луча, при которомъ



233.



234.

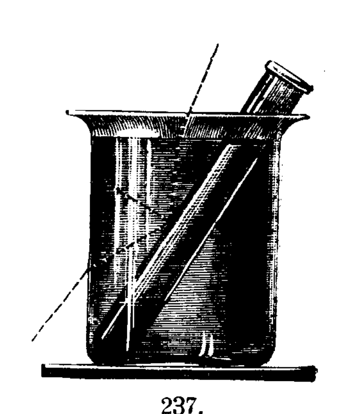
235.

преломленный лучъ выходитъ вскользь по поверхности, именно $\angle ACD$, называется предѣльнымъ угломъ. Въ случаѣ стекла и воздуха, какъ въ нашемъ примѣрѣ, этотъ уголъ близокъ къ 40°. При переходѣ лучей изъ воды въ воздухъ онъ немного менѣе 50°. Предѣльный уголъ легко вычисляется, если извѣстны показатели преломленія срединъ.—На рис. 234 изображенъ ходъ цѣлаго пучка лучей точки A, падающихъ изъ воды на ея поверхность, надъ которой находится воздухъ.

Можно указать много случаевъ, въ которыхъ хорошо наблюдается полное отраженіе [1]. Вотъ нѣсколько примѣровъ. Если, ставъ противъ окна, смотрѣть на стеклянный кубъ приблизительно въ такомъ направленіи, какъ показываетъ рис. 235, то нижняя грань его (*B*) представляется блестящей, какъ серебро, въ тѣхъ именно частяхъ, отъ которыхъ свѣтъ отражается сполна,—тогда какъ верхняя (*A*), отражающая сравнительно мало, кажется блѣдной. Изображеніе пламени свѣчи въ нижней грани будетъ тоже гораздо ярче, нежели въ верхней. Во многихъ граненыхъ стеклянныхъ вещахъ можно видѣть нѣкоторыя грани ярко блестящими изнутри, если повернуть вещь къ свѣту надлежащимъ образомъ.—Если въ стаканъ съ водою опустить чайную ложку и смотрѣть на



236.



237.

водяную поверхность снизу, то можно увидѣть въ ней, какъ въ зеркалѣ, изображеніе рукоятки ложки (рис. 236). Стеклянная пробирка, погруженная въ стаканъ съ водою, если смотрѣть сверху (рис. 237), кажется посеребренною съ поверхности; но явленіе тотчасъ исчезаетъ, лишь только налить въ пробирку воды, потому что тогда изъ пробирки будетъ устраненъ воздухъ.

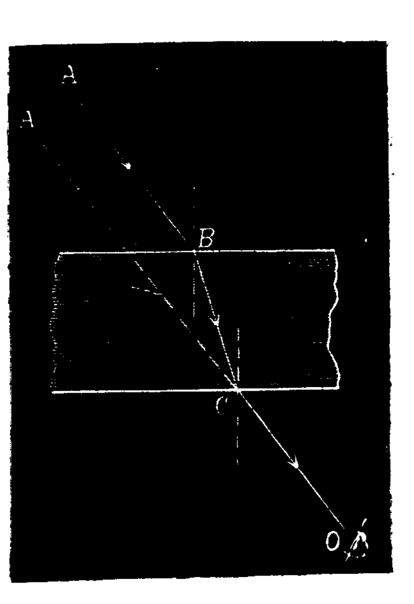
При переходѣ свѣтовыхъ лучей изъ воздуха **болѣе плотнаго въ менѣе плотный** — изъ менѣе теплаго въ болѣе теплый—тоже имѣются условія для полнаго отраженія отъ границы, раздѣляющей воздушные слои. Проистекающая отсюда зеркальность воздуха играетъ существенную роль въ объясненіи явленій **миража**.

[1] Для классныхъ опытовъ (съ сильнымъ источникомъ свѣта) очень пригоденъ приборъ рис. 224, усовершенствованный такимъ образомъ, чтобы можно было пропускать свѣтовой лучъ не только сверху, но и снизу, т. е. чрезъ воду—въ воздухъ.

Преломленіе лучей при проходѣ чрезъ средины съ параллельными и непараллельными сторонами.

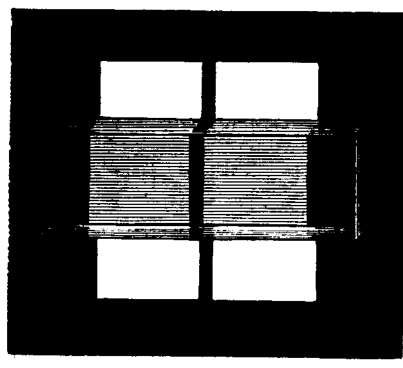
312*. Разсмотримъ еще нѣсколько случаевъ преломленія свѣта, важныхъ по своимъ дальнѣйшимъ примѣненіямъ.

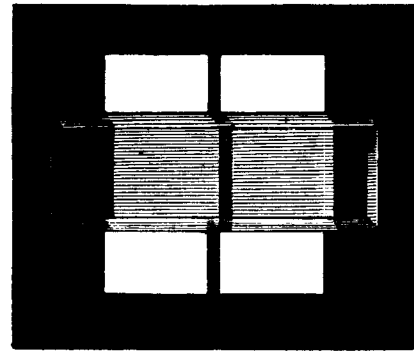
Положимъ, что лучъ *AB* проходитъ изъ воздуха въ косвенномъ направленіи сквозь кусокъ стекла съ параллельными сторонами (кусокъ зеркальнаго стекла). Онъ преломляется дважды: при входѣ въ стекло и при выходѣ изъ него. При входѣ въ стекло лучъ **приближается къ перпендикуляру**, а при выходѣ **настолько же удаляется** отъ перпендикуляра (рис. 238). Но такъ какъ перпендикуляры въ точкахъ входа и выхода луча имѣютъ одно и то же направленіе (параллельное), то **лучъ выйдетъ изъ стекла по направленію** *CO*, **которое параллельно первоначальному** *AB*. Глазу *O*, смотрящему сквозь такой—достаточно толстый—кусокъ стекла на точку *A*, она будетъ казаться нѣсколько смѣщенной въ сторону (въ A_1). Этого конечно не будетъ, если лучъ падаетъ перпендикулярно къ поверхности стекла. Когда стекло тонко, смѣщеніе видимыхъ сквозь него предметовъ, происходящее отъ указанной причины, ничтожно, и мы его обыкновенно не замѣчаемъ. Но если смотрѣть напр. сквозь достаточно толстый кусокъ зеркальнаго стекла на строчки печатной страницы, то, при извѣстныхъ положеніяхъ стекла, строчки будутъ казаться сдвинутыми параллельно самимъ



238.

себѣ. Рис. 239 и 240 изображаютъ, какъ намъ представится прямая черта, если смотрѣть на нее косвенно сквозь толстый кусокъ стекла—справа и слѣва. Точно также сильно смѣщен-


239.


240.

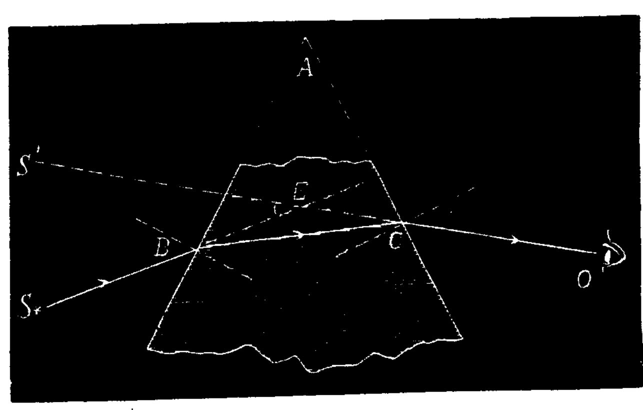
ною кажется средняя часть карандаша при разсматриваніи ея искоса сквозь стеклянный кубъ.

Наблюдая преломленіе свѣта въ жидкихъ тѣлахъ, ихъ по необходимости заключаютъ въ прозрачную оболочку, конечно чаще всего въ стеклянные сосуды. Слѣдовательно лучи преломляются и въ жидкости, и въ стѣнкахъ сосуда. Но если послѣдній сдѣланъ изъ плоскопараллельнаго тонкаго стекла, то преломленіе свѣта происходитъ почти такъ, какъ будто бы стѣнокъ не было.

313. Возьмемъ теперь прозрачное тѣло, ограниченное съ двухъ сторонъ непараллельными гранями, и положимъ, что на одну изъ нихъ падаетъ изъ воздуха лучъ SB, какъ показано на рис. 241. (На немъ остальныя стороны, какъ не имѣющія значенія въ данномъ случаѣ, изображены неопредѣленными очертаніями, а двѣ боковыхъ грани продолжены—пунктиромъ—до встрѣчи, чтобы былъ яснѣе виденъ уголъ ихъ взаимнаго наклоненія A). Входя при точкѣ B, лучъ приближается къ перпендикуляру [1] и падаетъ на вторую грань по направленію BC. При выходѣ затѣмъ въ воздухъ онъ удаляется отъ перпендикуляра. Въ общемъ, лучъ отклонится отъ первоначальнаго направленія

[1] Ходъ преломленнаго луча можно опредѣлить напр. по указанному выше (въ § 310) пріему, зная показатель преломленія прозрачной средины.

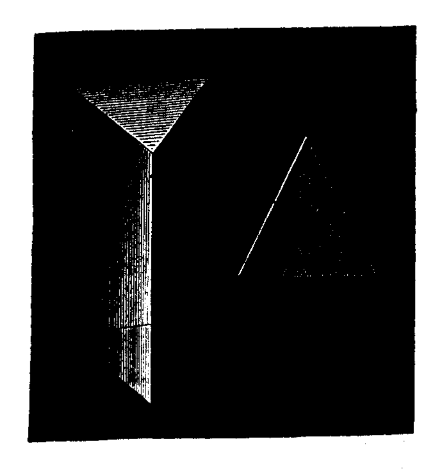
на уголъ, величину котораго легко найти, продолживъ лучи падающій SB и выходящій CO до взаимнаго ихъ пересѣченія въ точкѣ E: уголъ отклоненія луча будетъ SES'. Величина этого угла конечно зависитъ отъ преломляющей способности взятаго матерьяла; но, кромѣ того, уголъ отклоненія очевидно тѣмъ больше, чѣмъ больше уголъ взаимнаго



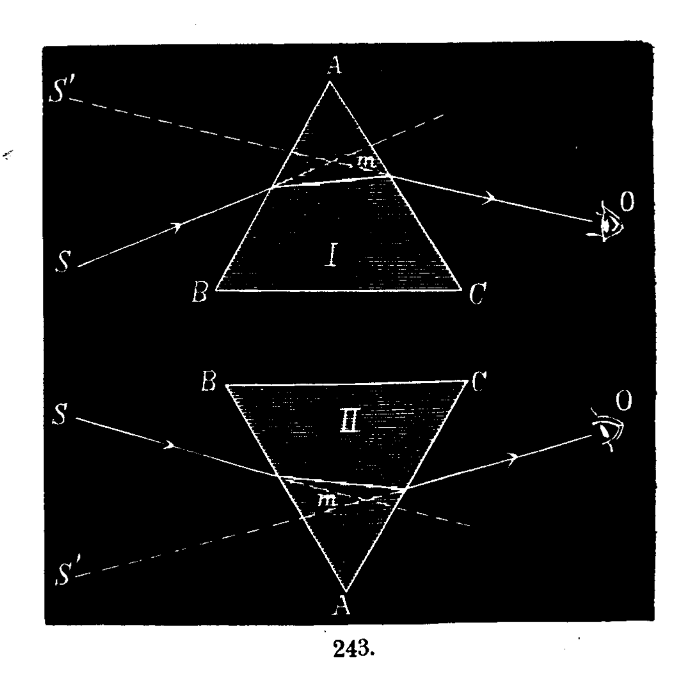
241.

наклоненія граней, т. е. уголъ A, называемый здѣсь преломляющимъ угломъ по отношенію къ лучу. Если свѣтъ исходитъ изъ какой-нибудь точки S, то, смотря на нее изъ O, мы увидимъ эту точку—или собственно ея мнимое изображеніе—по направленію падающихъ на глазъ лучей, т. е. по направленію OS'.

314*. Для многихъ свѣтовыхъ опытовъ прозрачному тѣлу съ непараллельными гранями придаютъ форму трехгранной призмы. Рис. 242 изображаетъ такую призму, а рядомъ—ея поперечное сѣченіе, которымъ мы дальше будемъ замѣнять рисунокъ самой призмы. Лучъ, падающій наклонно на одну изъ граней, AB, какъ показано


242.

на рис. 243, выходитъ по измѣненному направленію чрезъ другую грань *AC*. Составленный этими гранями уголъ *A* будетъ тогда преломляющимъ угломъ: его величиною (и конечно преломляющею способностью матерьяла призмы) обусловливается уголъ отклоненія (*m*) луча отъ первоначальнаго направленія [1]. Грань *BC*, лежащая противъ



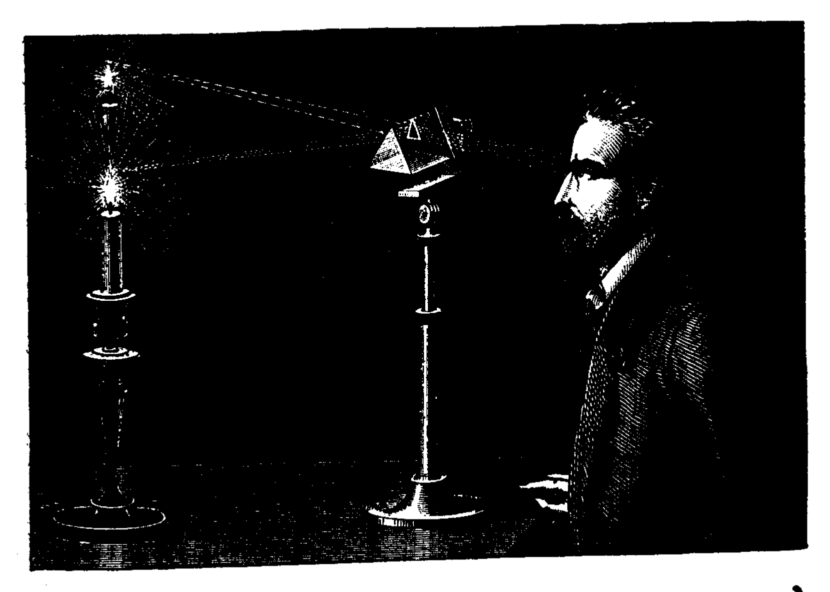
243.

преломляющаго угла, называется основаніемъ призмы (слову „основаніе" придается здѣсь—чисто условно — иной смыслъ, чѣмъ въ геометріи). Замѣтивъ себѣ эти обозначенія, мы можемъ сказать, что лучъ отклоняется призмою къ ея основанію (срав. рис. 243, I и II). Глазу же *O*, смотрящему сквозь призму на точку *S*, эта точка будетъ казаться смѣщенною къ вершинѣ преломляющаго угла. (Въ нашемъ случаѣ поперечное сѣченіе призмы—равносторонній треугольникъ, а потому преломляющій уголъ въ обоихъ положеніяхъ призмы, изображенныхъ на рисункѣ, одинаковъ). Говоря точнѣе, изображеніе точки представится намъ въ вершинѣ свѣтового пучка,

[1] Онъ зависитъ также отъ величины угла паденія луча на грань *AB*.

проникающаго въ нашъ глазъ по проходѣ свѣта сквозь призму,—какъ это и показано на рис. 244.

Обратимъ попутно вниманіе на красивое цвѣтовое явленіе, которое замѣчается при разсматриваніи предметовъ сквозь призму. Смотря извѣстнымъ образомъ чрезъ призму



244.

на переплетъ оконной рамы, на край листа бумаги, на пламя лампы и пр., мы увидимъ около предметовъ цвѣтныя полосы или коймы, напоминающія цвѣта радуги. Если солнечный свѣтъ, прошедшій чрезъ призму, падаетъ потомъ на стѣну (лучше всего бѣлую), на писчую бумагу и пр., то на нихъ получается радужное пятно. Граненый кусокъ стекла, граненый сосудъ съ водою и т. п. часто даютъ намъ случаи наблюдать то же самое. Эти цвѣтныя явленія, причина которыхъ заключается въ сложности свѣта солнца и нашихъ обычныхъ свѣтовыхъ источниковъ, будутъ ближе разсматриваться отдѣльно, въ слѣдующей главѣ.

315. Надо замѣтить, что ходъ луча въ трехгранной призмѣ очень различенъ въ зависимости отъ того, подъ какимъ угломъ лучъ на нее падаетъ; выше былъ взятъ только одинъ изъ простѣйшихъ примѣровъ. Изъ числа другихъ любопытно обратить вниманіе на слѣдующій. Если лучъ, войдя въ призму,

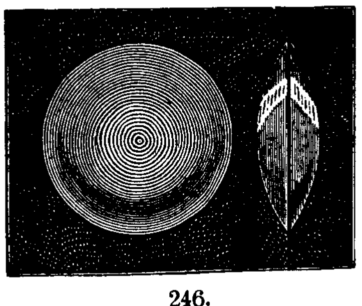
упадетъ на другую грань подъ угломъ, который *больше предѣльнаго* (для призмы изъ обыкновеннаго стекла, находящейся въ воздухѣ, предѣльный уголъ около 40°, см. § 311), то онъ уже не выйдетъ изъ этой грани въ воздухъ, а *сполна отразится* отъ нея. Полное внутреннее отраженіе свѣта отъ граней призмы можно замѣтить по сильному (какъ бы серебряному) блеску той или иной грани, если надлежащимъ образомъ направить на нее свѣтъ. Но особенный интересъ представляетъ полное внутреннее отраженіе въ призмѣ, которой поперечное сѣченіе—прямоугольный равнобедренный треугольникъ. Если направить лучъ SA перпендикулярно одной изъ граней CD или BC (на рис. 245 взята грань CD), то онъ, войдя въ призму безъ преломленія, упадетъ на грань BD подъ угломъ въ 45° (ибо углы при D и B по 45°), т. е. подъ угломъ, который больше предѣльнаго для стекла и воздуха. Слѣдовательно лучъ сполна отразится отъ этой грани по направленію AO. Такой призмою пользуются при опытахъ, когда надо отклонить направленіе луча на прямой уголъ по возможности безъ потери свѣта: призма дѣйствуетъ какъ совершеннѣйшее зеркало, поставленное подъ угломъ въ 45° къ свѣтовому лучу. Кромѣ того, если при положеніи призмы, представленномъ на рис. 245, помѣстить глазъ близъ призмы по направленію AO, а на столъ, въ удобномъ для глаза разстояніи, положить листъ бумаги (MN), то зеркальныя изображенія предметовъ, находящихся противъ грани CD (какъ точка S на рисункѣ), будутъ казаться расположенными на бумагѣ, такъ что можно обрисовывать карандашомъ ихъ очертанія. На этомъ основано устройство нѣкоторыхъ приборовъ для зарисовыванія съ натуры.

245.

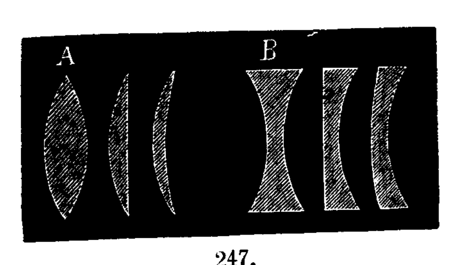
Преломленіе лучей въ оптическихъ стеклахъ.

316. *Оптическими стеклами* обыкновенно называютъ прозрачныя тѣла, ограниченныя *сферическими* (шаровыми) поверхностями. Примѣромъ можетъ служить т. наз. „увеличительное“ или „зажигательное“ стекло: оно

ограничено двумя выпуклыми шаровыми поверхностями (рис. 246). Такое стекло просто называютъ *двояко-выпуклымъ* и изображаютъ упрощенно въ разрѣзѣ такъ, какъ представлено на рис. 247 A. Стекло, ограниченное двумя вогнутыми шаровыми поверхностями, называется *двояко-вогнутымъ* (рис. 247, B). На рисункѣ изображены и другія формы стеколъ; но мы ограничимся разсмотрѣніемъ лишь двояко-выпуклаго и двояко-вогнутаго. Оптическія стекла часто



246.



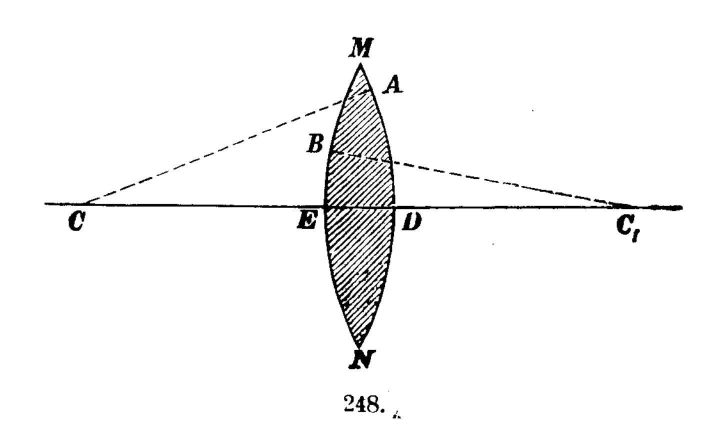
247.

называются также оптическими „чечевицами“, хотя собственно это названіе примѣнимо лишь къ двояко-выпуклому стеклу. Обыкновенный матерьялъ ихъ—стекло разныхъ сортовъ (разнаго состава). Но они дѣлаются, смотря по назначенію, и изъ горнаго хрусталя, каменной соли или другихъ твердыхъ тѣлъ (даже изъ льда); наконецъ оптическое „стекло“ можетъ состоять изъ жидкости или газа, заключенныхъ въ прозрачную оболочку съ шаровыми поверхностями (напр. изъ воды между двумя плотно скрѣпленными сферическими часовыми стеклами). И пр.

Оптическія стекла имѣютъ *обширнѣйшія примѣненія къ устройству оптическихъ приборовъ*, каковы микроскопъ, телескопъ (астрономическая труба), фотографическая камера, проекціонный (волшебный) фонарь и др. Кромѣ того, свойства оптическихъ стеколъ разъясняютъ намъ актъ *зрѣнія* и указываютъ способы возмѣщать его недостатки, напр. помощью очковъ. По обширности и важности приложеній, ученіе объ оптическихъ стеклахъ—одинъ изъ богатѣйшихъ отдѣловъ физики.

317. Обратимся къ *двояко-выпуклому стеклу* и условимся сперва въ нѣкоторыхъ выраженіяхъ, которыя

постоянно будутъ встрѣчаться дальше. Геометрическіе центры C и C_1 шаровыхъ поверхностей, ограничивающихъ стекло, называются центрами кривизны (рис. 248); на нашемъ рисункѣ это—точки, въ которыхъ надо поставить ножку циркуля, чтобы описать дуги MDN и MEN. Радіусы CA (или CD) и C_1B (или C_1E) называются радіусами кривизны; чѣмъ больше радіусъ, тѣмъ меньше „кривизна“ по-

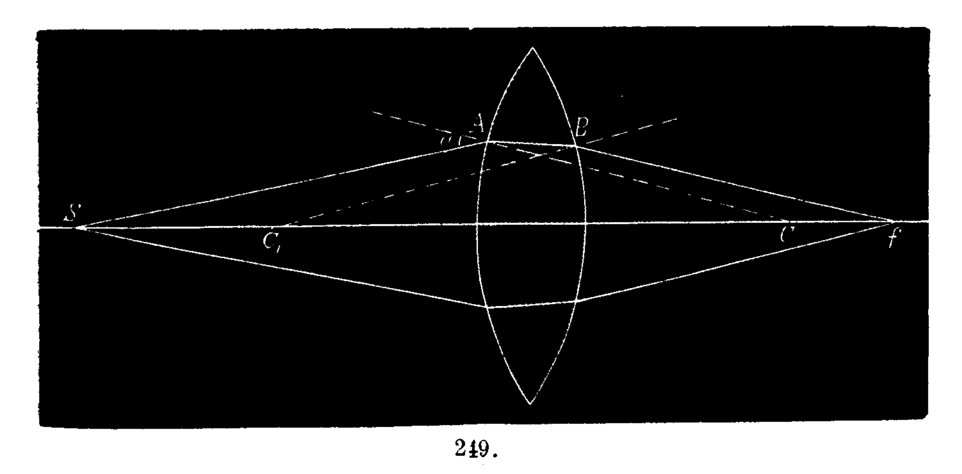


248.

верхности (на нашемъ рисункѣ—кривизна дуги). Кривизна обѣихъ поверхностей можетъ быть различна; но мы будемъ для простоты считать ее одинаковою или, что то же, радіусы кривизны равными. Радіусъ кривизны CA соотвѣтствуетъ перпендикуляру къ поверхности въ точкѣ A, какъ и въ случаѣ сферическихъ зеркалъ. Наконецъ прямая линія, проходящая чрезъ оба центра кривизны (и слѣдов. чрезъ средину стекла), называется главною оптическою осью.

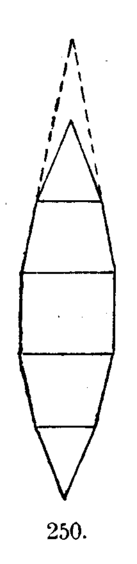
На рис. 249 двояко-выпуклое стекло изображено, какъ и выше, въ разрѣзѣ (по плоскости, проходящей чрезъ главную ось), но въ нѣсколько бо́льшемъ размѣрѣ. Пусть на стекло падаетъ лучъ SA отъ точки S, находящейся на оптической оси, какъ показано на рисункѣ. Чтобы начертить дальнѣйшій ходъ луча, проведемъ къ точкѣ A радіусъ CA и продолжимъ его; тогда опредѣлится уголъ паденія (a) луча. Войдя изъ воздуха въ стекло, лучъ приблизится къ радіусу (какъ къ перпендикуляру) и пойдетъ въ нѣкоторомъ

направленіи AB [1]. Уголъ паденія его на вторую поверхность стекла опредѣлится опять съ помощью соотвѣтственнаго радіуса (C_1B). При выходѣ изъ стекла въ воздухъ лучъ удалится



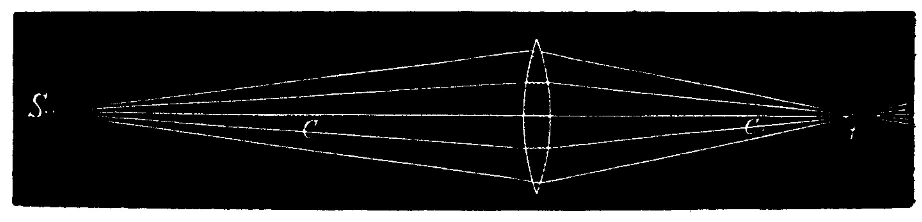
249.

отъ радіуса и, положимъ, приметъ направленіе Bf (гдѣ f обозначаетъ точку встрѣчи его съ оптическою осью). То же самое построеніе мы конечно могли бы повторить для какого-нибудь луча точки S, взятаго внизъ отъ оптической оси. Въ общемъ слѣдовательно явленіе похоже на то, которое мы имѣли бы при паденіи расходящихся лучей на рядъ призмъ, сложенныхъ такъ, какъ показываетъ рис. 250: каждый изъ нихъ, пройдя насквозь, приближается къ основанію соотвѣтствующей призмы, т. е. лучи послѣ преломленія взаимно сближаются. Не трудно видѣть (это поясняется рис. 250), что уголъ взаимнаго наклоненія обѣихъ поверхностей сферическаго стекла увеличивается отъ средины стекла къ его краямъ. Съ увеличеніемъ же угла между преломляющими поверхностями („преломляющаго угла“, см. § 314) конечно усиливается и отклоненіе лучей отъ ихъ первоначальнаго направленія. Чѣмъ больше рас-


250.

[1] Направленіе это можетъ быть найдено, если извѣстенъ показатель преломленія матерьяла, изъ котораго состоитъ стекло (см. выше, § 310).

ходятся лучи точки S, т. е. чѣмъ дальше они падаютъ отъ средины стекла, тѣмъ сильнѣе они преломляются,—и въ окончательномъ выводѣ оказывается, что лучи точки S,



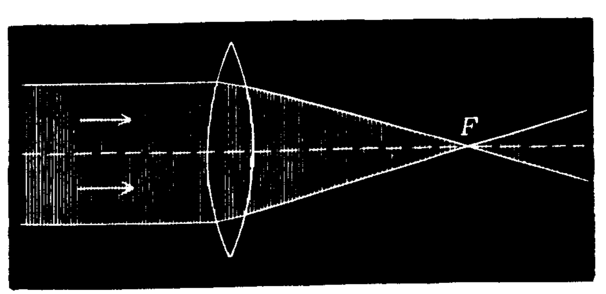
251.

пройдя сквозь стекло, собираются (приблизительно) въ одной точкѣ f, лежащей, какъ и S, на главной оси (рис. 251). Эта точка называется фокусомъ точки S или фокусомъ падающихъ на стекло лучей.

318. Мы видимъ, что фокусъ точки происходитъ здѣсь путемъ преломленія лучей такъ, какъ въ случаѣ вогнутаго сферическаго зеркала онъ происходитъ чрезъ отраженіе. Все, что намъ извѣстно о послѣднемъ, относится и къ фокусу лучей, собранныхъ двояковыпуклымъ стекломъ. 1) Фокусъ f есть дѣйствительное изображеніе точки S, и его можно принять на экранъ (на бумагу). 2) Если источникъ лучей, т. е. точку S, помѣстить въ f, то лучи пойдутъ какъ разъ обратнымъ путемъ и соберутся въ томъ мѣстѣ, гдѣ прежде находился источникъ S. 3) Какъ и при отраженіи отъ вогнутаго зеркала, необходимо имѣть въ виду, что фокусъ-точка происходить только отъ лучей, падающихъ на стекло очень близко отъ оптической оси; чѣмъ дальше лучи падаютъ отъ средины стекла (т. е. чѣмъ ближе къ краямъ), тѣмъ сильнѣе нарушается эта правильность. Такъ какъ съ нею связана отчетливость даваемыхъ стеклами изображеній (о которыхъ—ниже), то въ необходимыхъ случаяхъ краевые лучи устраняютъ помощью заслонокъ съ отверстіемъ посрединѣ (діафрагмъ). — Послѣ сказаннаго выше понятно, почему двояко-выпуклое стекло, подобно вогнутому зеркалу, называется собирательнымъ.

Мы вообще найдемъ много сходнаго въ явленіяхъ, представляемыхъ двояко-выпуклымъ стекломъ и вогнутымъ зеркаломъ. Мы встрѣтимся здѣсь съ точкою, которая называется главнымъ фокусомъ, съ дѣйствительными изображеніями предметовъ — уменьшенными и увеличенными — и съ мнимыми увеличенными изображеніями. Предварительное знакомство со свойствами собирательнаго зеркала (см. гл. XVII) поможетъ намъ лучше усвоить явленія, представляемыя собирательнымъ стекломъ, которыя по своей важности заслуживаютъ бо́льшаго вниманія.

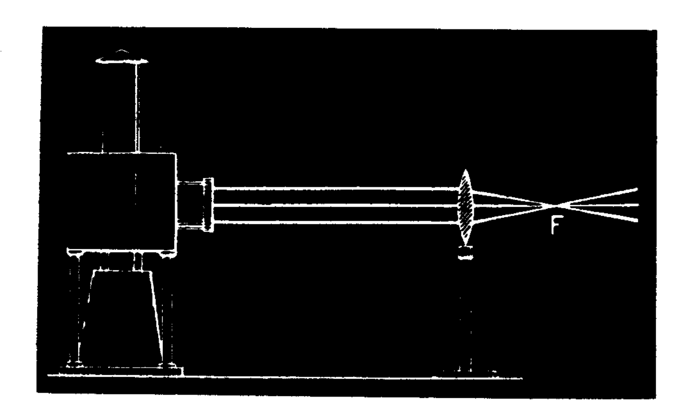
319. Свѣтовой пучекъ, падающій на двояко-выпуклое стекло параллельно главной оптической оси, сходится въ точкѣ F (рис. 252), которая называется главнымъ фокусомъ; разстояніе его отъ стекла (или собственно отъ средины его толщины) называется просто „фокуснымъ разстояніемъ“ стекла. Направляя на стекло солнечные лучи параллельно его главной оси, мы легко найдемъ то мѣсто, гдѣ лучи сходятся, если станемъ передвигать противъ стекла кусокъ бумаги, держа его перпендикулярно къ оси. Получаемый яркій кружокъ — дѣйствительное изображеніе солнца — при нѣкоторомъ положеніи бумаги будетъ имѣть наименьшую величину; тогда бумага пересѣкаетъ ось въ главномъ фокусѣ. — Въ фокусѣ солнечныхъ лучей, какъ и при отраженіи ихъ отъ вогнутаго сферическаго зеркала, можно получить очень высокую температуру, почему собирательное стекло въ этомъ случаѣ извѣстно подъ именемъ „зажигательнаго“ [1]. Весьма значительное тепловое дѣйствіе можно уже получить, про-



252.

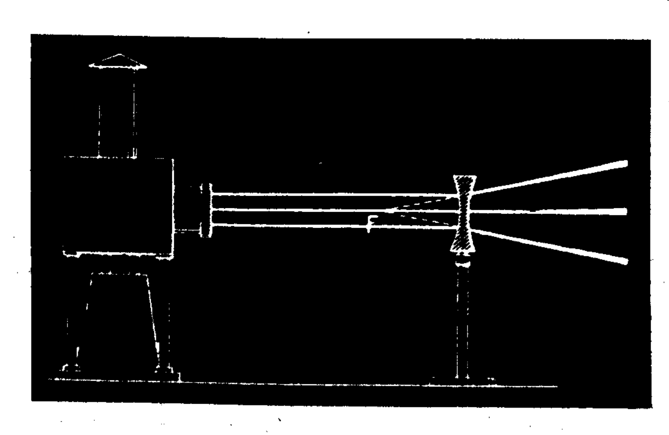
[1] Въ фокусѣ солнечныхъ лучей большого собирательнаго стекла впервые былъ сожженъ алмазъ. (О горючести алмаза и о родствѣ его съ углемъ см. гл. XII, § 197).

пустивъ яркіе солнечные лучи сквозь наполненную водою шарообразную колбу (или такой же формы графинъ): въ фокусѣ лучей удается прожечь бумагу.



253.

Рис. 253 изображаетъ опытъ съ параллельнымъ пучкомъ свѣта отъ электрическаго фонаря; въ фокусѣ этого пучка можно тоже получить значительное повышеніе температуры.



254.

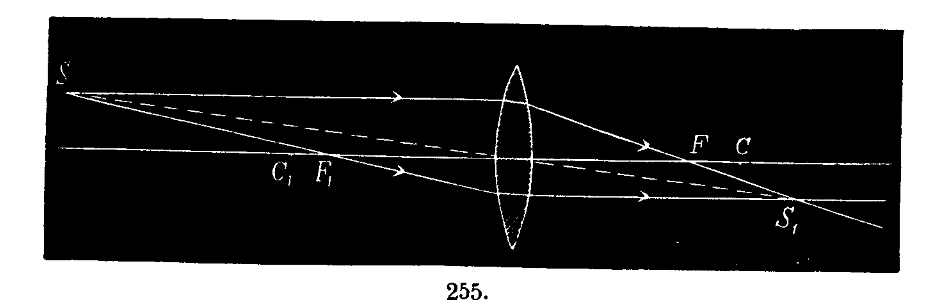
Для сравненія, на слѣдующемъ (254) рисункѣ показано р а з с ѣ и в а ю щ е е дѣйствіе двояко-вогнутаго стекла.

Наоборотъ, если помѣстимъ в ъ г л а в н о м ъ ф о к у с ѣ сильный источникъ свѣта по возможности малыхъ размѣровъ, то послѣ преломленія получимъ пучекъ (приблизительно) параллельныхъ лучей. Благодаря извѣстной намъ особенности такихъ лучей (§ 278), они примѣняются на маякахъ, при стрѣльбѣ въ цѣль (прожекторы), для подачи свѣтовыхъ сигналовъ и вообще въ случаяхъ, гдѣ требуется освѣщеніе на большомъ разстояніи. Пучки параллельныхъ лучей производятся какъ съ помощью вогнутыхъ зеркалъ (§ 293), такъ и посредствомъ собирательныхъ стеколъ.

320. Мы знаемъ, что главный фокусъ вогнутаго сферическаго з е р к а л а лежитъ на половинѣ радіуса кривизны (§ 291). Гдѣ находится г л а в н ы й ф о к у с ъ д в о я к о-в ы п у к л а г о с ф е р и ч е с к а г о с т е к л а? Понятно, что положеніе главнаго фокуса зависитъ въ этомъ случаѣ не только отъ к р и в и з н ы его поверхностей, но и отъ п р е л о м л я ю щ е й с п о с о б н о с т и его матерьяла: чѣмъ послѣдняя больше, тѣмъ ближе конечно будетъ находиться главный фокусъ,—тѣмъ короче будетъ фокусное разстояніе. Фокусное разстояніе двояко-выпуклаго стекла можетъ быть в ы ч и с л е н о, если извѣстны радіусы кривизны его поверхностей и преломляющая способность (показатель преломленія, § 310) вещества, изъ котораго оно состоитъ. Но его обыкновенно опредѣляютъ путемъ опыта, принимая на стекло—по направленію оптической оси — свѣтъ источника настолько далекаго, чтобы падающіе на стекло лучи можно было считать параллельными; найдя помощью экрана мѣсто схода этихъ лучей, узнаютъ фокусное разстояніе. (Для приблизительныхъ опредѣленій достаточно даже, отойдя со стекломъ на десятокъ шаговъ отъ окна, получить отчетливое его изображеніе на бумагѣ, которую держатъ позади стекла). Ниже мы узнаемъ еще другой пріемъ. Въ частномъ случаѣ оказывается, что когда кривизна стекла съ обѣихъ сторонъ одинакова, а преломляющій матерьялъ есть обыкновенное хорошее стекло (показатель преломленія котораго около $^3/_2$), — главные фокусы почти совпадаютъ съ центрами кривизны. Въ случаѣ сортовъ стекла съ бóльшею преломляющею способностью, главные фокусы будутъ лежать ближе центровъ кривизны.

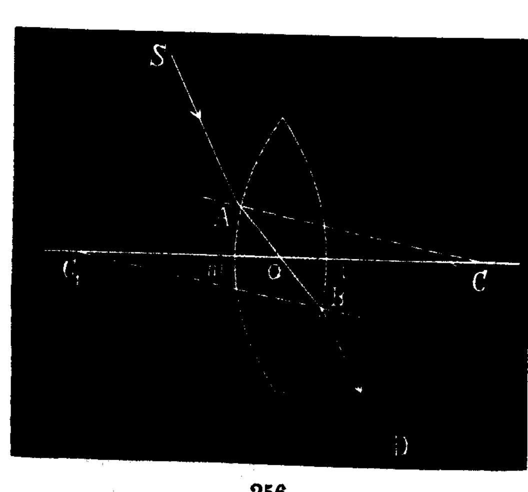
321. Если свѣтящая точка лежитъ в н ѣ г л а в н о й о п т и ч е с к о й о с и, то и фокусъ ея получится въ сторонѣ отъ этой оси. Чтобы опредѣлить его мѣсто построеніемъ, необходимо и достаточно взять (какъ и при вогнутыхъ зеркалахъ) изъ точки S (рис. 255) два луча, ходъ которыхъ послѣ преломленія было бы легко опредѣлить. Однимъ изъ нихъ конечно будетъ лучъ параллельный главной оси:

преломившись, онъ пройдетъ чрезъ главный фокусъ по ту сторону стекла (F). Другимъ можетъ служить лучъ, проходящій отъ точки S чрезъ главный фокусъ (F_1) по сю сторону стекла: этотъ лучъ по преломленіи пойдетъ параллельно оси. Точкою ихъ встрѣчи (S_1) опредѣлится мѣсто изображенія или фокусъ точки S.



255.

322. Для построеній удобнѣе однако пользоваться тѣмъ, что *лучъ, проходящій чрезъ средину толщины стекла* (точка O на рис. 256), *выходитъ изъ стекла, не измѣнивъ своего первоначальнаго направленія*. Это видно изъ слѣдующаго. Лучъ, направляющійся по *главной оптической оси*, входитъ въ стекло въ точкѣ m и выходитъ въ точкѣ n. Можно представить себѣ, что лучъ проходитъ какъ бы сквозь кусокъ стекла съ чрезвычайно малыми *параллельными сторонками* при m и n. Но, отступя по поверхностямъ стекла одинаково вверхъ и внизъ отъ главной оси (см. рис.), мы опять найдемъ пару точекъ A и B, имѣющихъ то же самое свойство: малѣйшія



256.

соотвѣтствующія имъ части обѣихъ поверхностей стекла можно разсматривать какъ двѣ параллельныя другъ другу площадки. Это видно уже изъ рисунка, если обратить вниманіе на *направленіе* сторонъ стекла въ точкахъ A и B. (См. также выше рис. 250).

Но удостовѣриться въ этомъ можно путемъ геометрическаго разсмотрѣнія, проведя къ точкамъ A и B радіусы кривизны CA и C_1B. Такъ какъ по условію дуговыя разстоянія Am и Bn равны, то радіусы CA и C_1B между собою параллельны. Но въ такомъ случаѣ и малѣйшія части поверхностей при A и B, которыя мы представляемъ себѣ чрезвычайно малыми площадками, должны быть параллельны другъ другу, ибо каждая изъ нихъ перпендикулярна къ соотвѣтствующему радіусу.

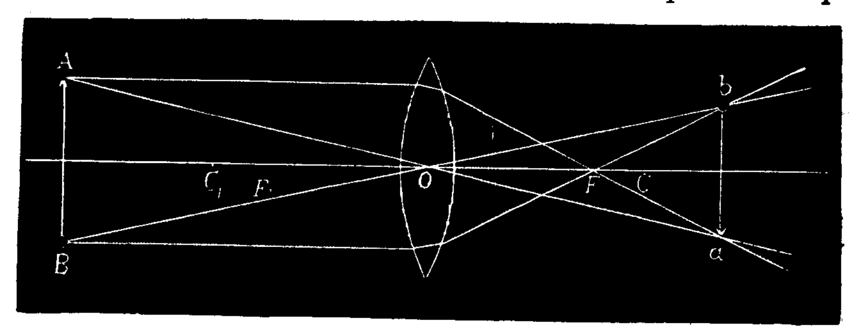
Отсюда слѣдуетъ, что лучъ, проходящій въ стеклѣ по AB, выйдетъ изъ него по направленію BD, которое параллельно SA (см. выше, § 312), а если стекло достаточно тонко, то можно считать, что лучъ, направляющійся чрезъ точку O, проходитъ сквозь стекло безъ преломленія. Точка, имѣющая это свойство, называется *оптическимъ центромъ* стекла. Въ нашемъ случаѣ—при равенствѣ радіусовъ кривизны — она лежитъ въ срединѣ толщины стекла. Но въ случаѣ стеколъ иной формы она можетъ лежать и не въ срединѣ, и даже не внутри, а внѣ стекла.

На рис. 255 изъ точки S проведена (пунктиромъ) *побочная ось* чрезъ оптическій центръ стекла: мы видимъ, что пересѣченіе ея съ лучемъ, взятымъ отъ точки S параллельно главной оси, опредѣляетъ собою тотъ же фокусъ S_1 точки S.

323. Положимъ теперь, что передъ собирательнымъ стекломъ, перпендикулярно къ его главной оси, находится свѣтящійся или освѣщенный предметъ AB, и именно на разстояніи отъ стекла *большемъ двойного фокуснаго разстоянія* (рис. 257). Опредѣлимъ построеніемъ мѣсто фокусовъ двухъ крайнихъ точекъ предмета. Изъ точки A возьмемъ 1) лучъ параллельный оптической оси, который послѣ преломленія пройдетъ чрезъ главный фокусъ F, и 2) лучъ, направленный чрезъ оптическій центръ O,—который идетъ не преломляясь. Въ точкѣ ихъ встрѣчи a сойдутся и другіе лучи точки A: это будетъ вершина сходящагося пучка, фокусъ верхней точки предмета. Сдѣлавъ такое же построеніе для нижней точки B, найдемъ ея фо-

кусъ b выше оптической оси. Изображеніе ab будетъ дѣйствительное обратное уменьшенное; оно перпендикулярно оси, какъ и самый предметъ. На рисункѣ взятые нами свѣтовые пучки заштрихованы, чтобы показать нагляднѣе, какъ они сходятся въ двухъ фокусахъ a и b.

Замѣтимъ себѣ, что если бы ab былъ дѣйствительный предметъ, то онъ посылалъ бы отъ себя свѣтовые пучки во всѣ стороны и могъ бы быть виденъ со всѣхъ сторонъ. Изъ раз-



257.

ныхъ же точекъ изображенія (напр. изъ точекъ a, b) расходятся пучки только въ опредѣленныхъ направленіяхъ, неполные пучки, и глазъ могъ бы видѣть изображеніе—въ пространствѣ передъ стекломъ—лишь въ охватываемыхъ ими границахъ. Но въ этихъ границахъ изображеніе вполнѣ замѣняетъ собою для глаза дѣйствительный предметъ. Принявъ изображеніе напр. на бѣлую бумагу, мы можемъ видѣть его и съ другихъ сторонъ, вслѣдствіе разсѣяннаго отраженія свѣта отъ бумаги. (См. также § 297).

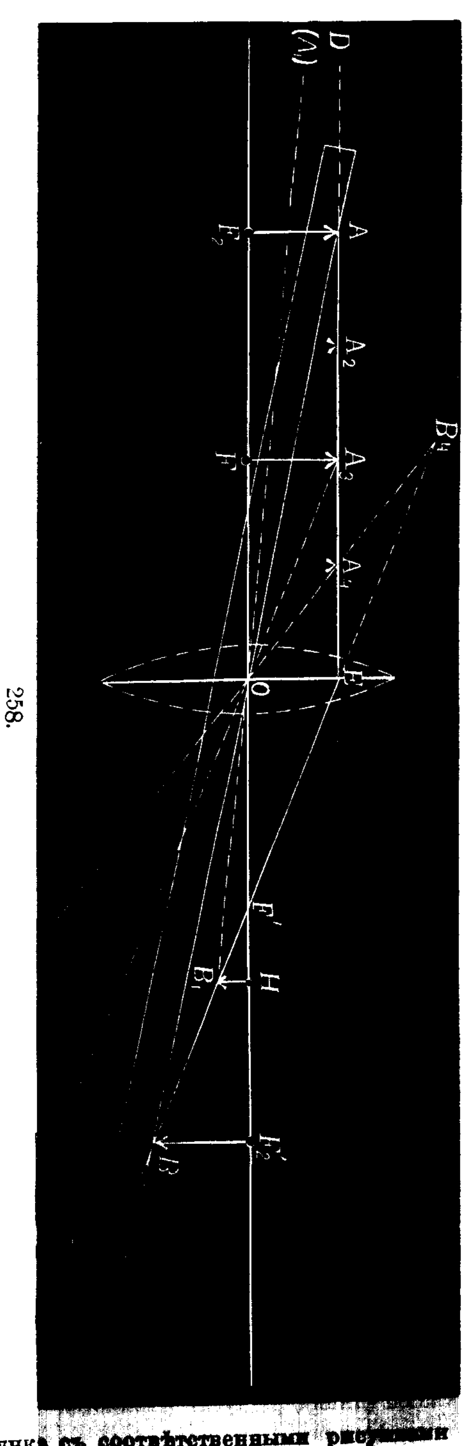
Самый пріемъ построенія, какъ видимъ, очень сходенъ съ примѣнявшимся выше для сферическаго вогнутаго зеркала (§ 297).

324. Чѣмъ дальше предметъ отъ стекла, тѣмъ его изображеніе меньше, и тѣмъ ближе оно къ главному фокусу. Напротивъ, съ приближеніемъ предмета его изображеніе удаляется отъ главнаго фокуса и становится больше. Чтобы прослѣдить, какъ въ разныхъ положеніяхъ предмета на оптической оси измѣняются мѣсто и величина изображенія, обратимся къ слѣдующему пріему[1]. Проведемъ главную оптическую ось

[1] Онъ примѣненъ былъ и выше, въ § 300, къ вогнутымъ сферическимъ зеркаламъ. Но мы придаемъ ему здѣсь бо́льшее значеніе въ виду гораздо бо́льшихъ примѣненій сферическихъ стеколъ.

(рис. 258) и паралелльную ей прямую (лучъ) DE, на которой пусть будетъ оставаться вершина стрѣлки (служащей „предметомъ“) при ея перемѣщеніи вдоль оси. Стекло предположимъ настолько тонкимъ, чтобы можно было ограничиться однократнымъ преломленіемъ луча (какъ и представлено на рисункѣ при E). Наконецъ отмѣтимъ положеніе главныхъ фокусовъ F и F' и двойныя фокусныя разстоянія OF_2 и OF'_2. Если затѣмъ наложимъ на чертежъ линейку такъ, чтобы ребро ея проходило чрезъ вершину стрѣлки и оптическій центръ O, то точка встрѣчи ребра съ преломленнымъ лучемъ EG (идущимъ чрезъ главный фокусъ F') покажетъ намъ мѣсто изображенія вершины стрѣлки въ разныхъ ея разстояніяхъ отъ стекла (см. пунктирныя прямыя на рисункѣ), а перпендикуляры, проведенные отсюда до встрѣчи съ осью, дадутъ изображенія самой стрѣлки[1].

Предметъ AF_2, находясь отъ стекла на двойномъ фокусномъ разстояніи, даетъ изобра-

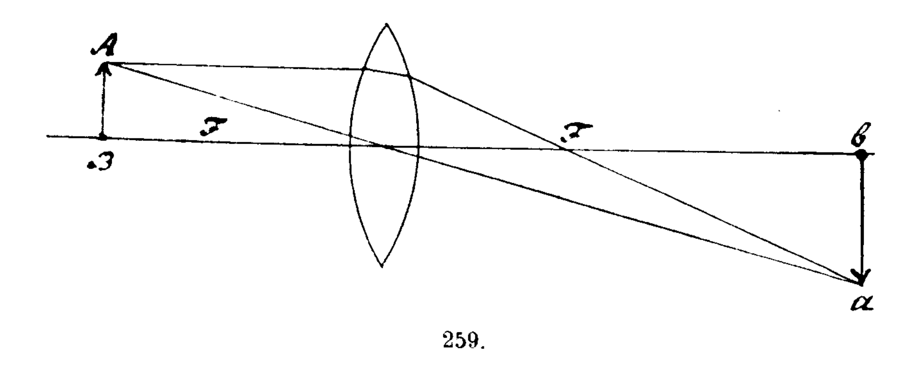


258.

[1] При сравненіи нашего рисунка съ соотвѣтственными рисунками

женіе BF_2' *равной ему величины* и *на такомъ же разстояніи* за стекломъ: это прямо видно, если приложить линейку указаннымъ выше образомъ (но въ томъ же можно убѣдиться очень простымъ геометрическимъ разсмотрѣніемъ). При удаленіи предмета отъ стекла за двойное фокусное разстояніе, изображеніе приближается къ главному фокусу F' и становится все меньше (см. B_1H); слѣдовательно уменьшенныя дѣйствительныя изображенія (см. также выше болѣе полный рис. 257) остаются въ границахъ между главнымъ фокусомъ F' и двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ OF'_2.

Когда предметъ приблизится на разстояніе меньшее двойного фокуснаго (OF_2), его изображеніе отодвинется за двойное фокусное разстояніе (OF'_2) и будетъ *больше предмета* (приложить линейку къ точкамъ A_2 и O; см. также отдѣльный рис. 259). Чѣмъ ближе предметъ къ главному фокусу, тѣмъ его изображеніе будетъ больше и дальше за



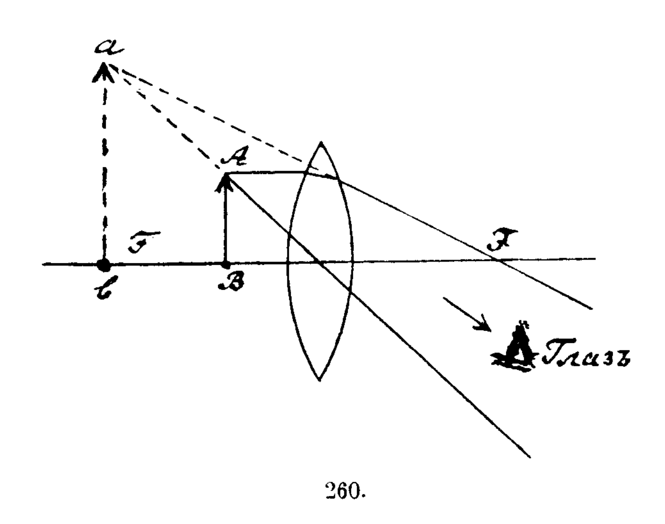
259.

стекломъ, потому что тѣмъ дальше проходящій чрезъ O лучъ (ребро линейки) встрѣтится съ лучемъ EG. Когда предметъ помѣстится на разстояніи главнаго фокуса (въ положеніи A_3F), ребро линейки будетъ *параллельно* лучу EG (потому что отрѣзокъ A_3E равенъ и параллеленъ отрѣзку OF'), и слѣдовательно прошедшіе сквозь стекло лучи не встрѣтятся: изображенія не будетъ (оно какъ бы отодвинется на безпредѣльно большое разстояніе). Слѣд. увеличенныя дѣй-

212 и 213 для вогнутаго сферическаго зеркала, надо имѣть въ виду, что въ послѣднемъ случаѣ разстояніе отъ зеркала до центра кривизны (длина радіуса) равняется именно двойному разстоянію главнаго фокуса.

ствительныя изображенія происходятъ отъ предмета, помѣщающагося въ границахъ между главнымъ фокусомъ и двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ.

При дальнѣйшемъ приближеніи предмета (напр. если вершина стрѣлки въ A_4) лучи выйдутъ изъ стекла *расходящимися*: изображеніе получится по ту же сторону



260.

стекла, гдѣ находится предметъ, и будетъ *мнимое прямое увеличенное*. (На рис. изображенъ только мнимый фокусъ B_4 точки A_4; см. также отдѣльный рис. 260).

Замѣтимъ себѣ въ общемъ, что *предметъ и его изображеніе перемѣщаются въ одну и ту же сторону* (въ случаѣ вогнутаго зеркала — на встрѣчу другъ другу).

325. Дѣйствительныя уменьшенныя и увеличенныя изображенія освѣщенныхъ предметовъ получаются съ помощью общеизвѣстныхъ оптическихъ приборовъ, называемыхъ *фотографическою камерой* и *волшебнымъ* (лучше—*проекціоннымъ*) фонаремъ. Главная составная часть ихъ—собирательное стекло. Образованіе уменьшеннаго или увеличеннаго изображенія зависитъ лишь отъ того или иного положенія предмета по отношенію къ главному фокусу стекла. Если же сквозь собирательное стекло смотрѣть на предметъ, находящійся отъ стекла ближе главнаго фокуса, то можно видѣть мнимое увеличенное изображеніе предмета.

Въ послѣдней роли стекло обыкновенно называется „увеличительнымъ“ или лупою.

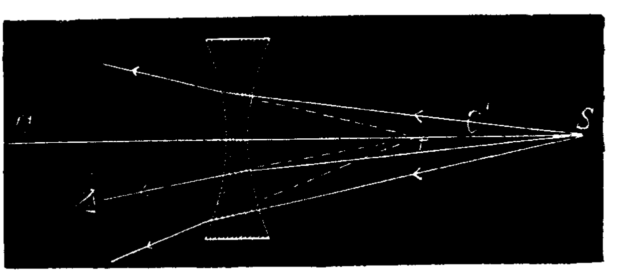
Для наблюденія изображеній весьма пригодны стекла отъ собирательныхъ очковъ (очки для т. наз. дальнозоркаго глаза). Стекло вправляютъ въ картонную рамку, которую удобно держать рукою или укрѣпить въ зажимѣ штатива. Фокусное разстояніе стекла опредѣляютъ или по мѣсту изображенія отдаленнаго предмета (солнца, далеко стоящей лампы и пр.), или подыскивая такое положеніе стекла относительно предмета, чтобы предметъ и его изображеніе были равны другъ другу: тогда оба находятся отъ стекла на разстояніи, которое вдвое больше разстоянія главнаго фокуса (см. пред. §). „Предметомъ“ для наблюденій можетъ служить пламя свѣчи.

Съ помощью очешнаго стекла можно получать также изображенія хорошо освѣщенныхъ предметовъ—воспроизвести простѣйшія модели проекціоннаго фонаря и фотографической камеры (пригоднѣе всего стекла съ фокуснымъ разстояніемъ 4—6 дюйм., или 10—15 см.). Если взять рисунокъ, сдѣланный на матовомъ стеклѣ или просвѣчивающей бумагѣ, освѣтить его поставленною позади лампой и помѣстить такъ, чтобы онъ находился между главнымъ фокусомъ стекла и двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ, то по другую сторону послѣдняго, въ надлежащемъ мѣстѣ, можно будетъ получить на экранѣ (бѣлой стѣнѣ) обратное увеличенное изображеніе рисунка. Въ проекціонномъ фонарѣ собирательное стекло, дающее изображенія и называемое объективомъ, вставлено въ подвижную оправу, придѣланную къ ящику, въ которомъ скрыта лампа; свѣтъ ея направляется на рисунокъ съ помощью другого собирательнаго стекла („конденсатора“).

Весьма отчетливыя уменьшенныя изображенія хорошо освѣщенныхъ предметовъ получаются на матовомъ стеклѣ, передвигающемся внутри ящика, въ передней стѣнкѣ котораго вставлено очешное стекло. Это — простѣйшая модель фотографическаго аппарата, гдѣ очешное стекло соотвѣтствуетъ объективу камеры.

Съ помощью очешнаго стекла можно конечно получать и мнимыя увеличенныя изображенія; накладывая одно стекло на другое, можно усилить дѣйствіе. Но для достиженія значительныхъ увеличеній, въ качествѣ лупы, употребляются нарочно изготовляемыя для этого короткофокусныя стекла.

326. Что касается оптическаго стекла, ограниченнаго двумя сферическими вогнутыми поверхностями, двояковогнутаго стекла (рис. 261), то расходящійся свѣтовой



261.

пучекъ, падающій на него изъ точки S, выйдетъ изъ стекла еще болѣе расходящимся, и фокусъ (f) точки будетъ мнимый. Въ этомъ легко убѣдиться помощью построенія, которымъ мы пользовались выше, въ § 317. Параллельный пучекъ тоже превращается въ расходящійся (рис. 262; см. также выше рис. 254). Изображенія предметовъ, доставляемыя двояко-вогнутымъ стекломъ, во всѣхъ случаяхъ — мнимыя прямыя уменьшенныя. Наблюдать ихъ можно, смотря сквозь стекло отъ очковъ для близорукихъ; мы не станемъ останавливаться на построеніи изображеній. По весьма понятной причинѣ такое стекло называется разсѣивающимъ.



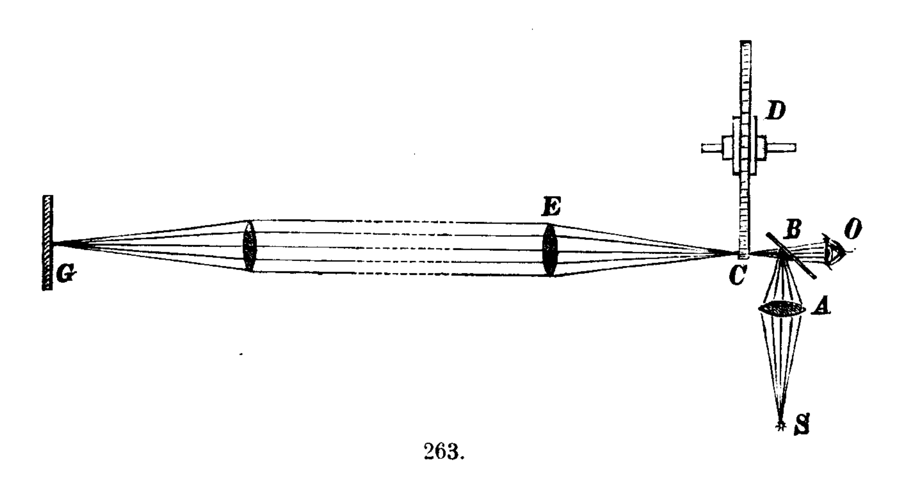
262.

Примѣненіе зеркалъ и оптическихъ стеколъ для опредѣленія скорости свѣта.

327*. Такъ какъ скорость свѣта громадна (§ 266), то для опредѣленія ея на земныхъ разстояніяхъ, въ воздухѣ, водѣ, стеклѣ и пр., употребляются болѣе или менѣе сложныя приспособленія, въ которыхъ важную роль играютъ оптическія стекла и зеркала.

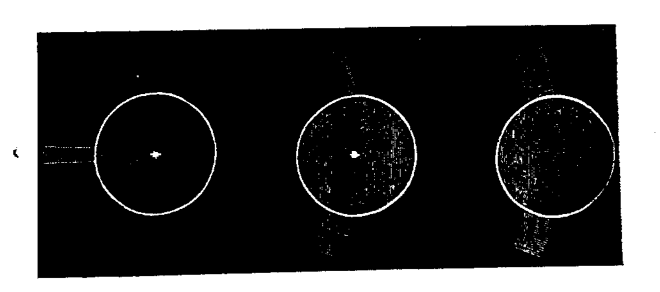
Представимъ себѣ сильный источникъ свѣта и на значительномъ разстояніи отъ него (нѣсколько верстъ) зеркало, въ кото-

ромъ мы, находясь около источника, могли бы видѣть изображеніе послѣдняго, т. е. блестящую точку. Если быстро заслонить свѣтовой источникъ, чтобы лучи не могли достичь зеркала, то блестящая точка исчезнетъ, но, строго говоря, не въ самый моментъ заслоненія, а на весьма малую долю секунды позже. Если бы намъ удалось опредѣлить эту долю секунды, то мы узнали бы время, въ теченіе котораго свѣтъ пробѣгаетъ путь въ воздухѣ отъ источника свѣта до зеркала и обратно, а слѣдовательно нашли бы, какое разстояніе онъ пройдетъ въ теченіе секунды. Въ опытахъ надъ опредѣленіемъ скорости свѣта быстрое заслоненіе



263.

свѣтового источника достигалось тѣмъ, что лучи пропускались между зубцами быстро вращающагося зубчатаго колеса; а чтобы направить свѣтъ надлежащимъ образомъ, примѣнялась цѣлая система зеркалъ и оптическихъ стеколъ, представленная въ упрощенномъ видѣ на рис. 263. Лучи отъ небольшого, но сильнаго свѣтового источника S проходятъ чрезъ собирательное стекло A, отражаются затѣмъ отъ стеклянной пластинки B и собираются въ томъ мѣстѣ (C), гдѣ проходятъ зубцы колеса D. Лучи, расходящіеся изъ фокуса C, принимаются собирательнымъ стекломъ E, помѣщеннымъ такъ, чтобы точка C была въ его главномъ фокусѣ: такимъ образомъ изъ стекла E выходитъ параллельный свѣтовой пучекъ. Пройдя разстояніе въ нѣсколько верстъ (въ опытахъ доходили до 20 слишкомъ), этотъ пучекъ снова падаетъ на собирательное стекло, главный фокусъ котораго приходится на поверхности зеркала G, гдѣ слѣдов. опять собираются лучи. Понятно, что послѣ отраженія отъ зеркала G свѣтовой пучокъ пройдетъ прежній путь по обратному направленію, сойдется въ точкѣ C и сквозь стекло B дойдетъ до глаза (O) наблюдателя; послѣдній увидитъ какъ бы звѣздочку между зубцами колеса (рис. 264, слѣва). Пока колесо D вращается настолько медленно, что отдѣльныя свѣтовыя впечатлѣнія, получаемыя глазомъ, еще не сливаются въ одно,—звѣздочка мелькаетъ между зубцами. При болѣе быстромъ вращеніи колеса, глазъ видитъ одну непрерывно свѣтящуюся точку (см. средину того же рис.). Но при достаточной быстротѣ вращенія она исчезаетъ. Это произойдетъ именно тогда, когда свѣтъ источника S, прошедшій чрезъ промежутокъ между зубцами, будетъ по возвращеніи заслоненъ зубцомъ, замѣстившимъ промежутокъ (рис. 264, справа). При удвоенной быстротѣ вращенія колеса, звѣздочка снова появляется, такъ какъ свѣтъ, прошедшій сквозь одинъ промежутокъ, вернувшись, встрѣчаетъ уже слѣдующій ближайшій промежутокъ. При еще большей скорости свѣтлая точка опять исчезнетъ. И т. д. Зная число зубцовъ на колесѣ и число его оборотовъ въ секунду, можно разсчитать время, въ теченіе котораго колесо успѣваетъ повернуться на одинъ зубецъ (ширина зубцовъ и промежутковъ одинакова). Конечно быстрота вращенія колеса должна быть очень значительна: въ опытахъ оно дѣлало обыкновенно въ секунду нѣсколько сотъ оборотовъ (доходили до 1600).



264.

Скорость свѣта въ воздухѣ очень немногимъ меньше, чѣмъ въ міровомъ пространствѣ (въ „свободномъ эфирѣ"), и можно считать ее круглымъ счетомъ равною 280000 верстамъ или 300000 километрамъ въ секунду. При всемъ томъ удалось съ помощью разныхъ сложныхъ приспособленій замѣтить время, въ теченіе котораго свѣтъ проходитъ путь равный напр. длинѣ обыкновенной жилой комнаты. Ставя на пути свѣтовыхъ лучей наполненную водою трубу, можно было сравнить скорость свѣта въ воздухѣ со скоростью его въ водѣ. Послѣдняя оказалась значительно меньше — около $^3/_4$ первой. Надо вообще замѣтить, что въ большей части твердыхъ и жидкихъ срединъ свѣтъ распространяется медленнѣе, чѣмъ въ воздухѣ.

305. Разобрать послѣдовательный рядъ отраженій и преломленій, происходящихъ при паденіи луча изъ точки на кусокъ зеркальнаго стекла съ серебряной наводкой, т. е. на плоское стеклянное зеркало. Какъ объяснить, что въ немъ видны, кромѣ самаго свѣтлаго, еще нѣсколько болѣе блѣдныхъ изображеній (напр. пламени свѣчи?)—**312.** Рис. 238 опредѣляетъ лишь *направленіе*, по которому глазъ O увидитъ изображеніе точки A. Чтобы найти *мѣсто* мнимаго изображенія, сдѣлать болѣе полный чертежъ, взявъ изъ точки A къ глазу узкій *свѣтовой пучекъ*. — Смотря сквозь обыкновенное *оконное стекло* (въ особенности очень косвенно), можно замѣтить смѣщенія частей предметовъ, отличающіяся отъ разобраннаго на рис. 238 случая,—доходящія мѣстами до искаженій. (Смотрѣть на ж.-д. рельсы *очень косо* чрезъ край стекла въ окно движущагося вагона). Чѣмъ объяснить себѣ это? *Отв.* Непараллельностью сторонъ, неровностями, пузырьками и пр. — **314.** Сдѣлать болѣе полный чертежъ хода лучей точки S сквозь трехгранную призму, взявъ изъ точки S къ глазу узкій *свѣтовой пучекъ*, которымъ и опредѣлится мѣсто мнимаго изображенія точки.—**312** и слѣд., до **326.** Явленія преломленія были разсмотрѣны въ этихъ §§ въ предположеніи, что свѣтъ идетъ изъ воздуха въ среду болѣе преломляющую и изъ нея—снова въ воздухъ. Какъ измѣнится ходъ лучей, если, наоборотъ, среда съ двумя параллельными или непараллельными гранями или ограниченная двумя сферическими—выпуклыми или вогнутыми—поверхностями будетъ состоять *изъ вещества менѣе преломляющаго*, нежели окружающая среда? (Примѣры: трехгранная призма, склеенная изъ тонкихъ стеклянныхъ пластинокъ и содержащая внутри *воздухъ*, помѣщена въ *воду* на пути свѣтовыхъ лучей; или въ воду погружена пара плотно сложенныхъ вмѣстѣ сферическихъ часовыхъ стеколъ съ заключеннымъ между ними воздухомъ)[1].—**327.** Скорость свѣта *въ воздухѣ* почти та же, что и въ міровомъ пространствѣ, т. е. 280000 верстъ въ секунду. Выразить ее *въ километрахъ въ секунду*, принимая километръ за $^{14}/_{15}$ версты, и сравнить со скоростью *звука* въ воздухѣ при 0^0 (330 м./сек.). *Отв.* 300000 км./сек.—почти въ милліонъ разъ больше скорости звука въ воздухѣ.—Положимъ, что въ опытѣ для опредѣленія скорости свѣта (рис. 263) разстояніе CG равно 15 км., а зубчатое колесо имѣетъ 500 зубцовъ. При сколькихъ оборотахъ колеса въ секунду произойдетъ первое исчезновеніе свѣтлой точки? *Отв.* При 10.

---

[1] Если въ сферическое часовое стекло нальемъ воды и будемъ смотрѣть насквозь, какъ въ лупу, то увидимъ предметы увеличенными; но если положимъ стекло на поверхность воды въ стаканѣ (нѣсколько вдавивъ въ воду), то теперь монетка, положенная на дно стакана, покажется уменьшенною.

XIX.

О цвѣтности лучей раскаленныхъ свѣтовыхъ источниковъ и о цвѣтѣ тѣлъ.

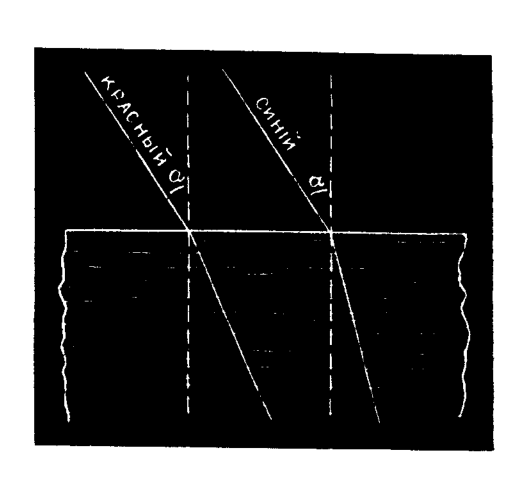
О физическомъ различіи лучей разнаго цвѣта.

328. При самомъ поверхностномъ наблюденіи можно уже замѣтить, что свѣтовые источники часто имѣютъ тотъ или иной цвѣтовой оттѣнокъ. Напр. пламя свѣчи кажется красноватымъ сравнительно со свѣтомъ горящаго магнія; пламя водорода, чистаго спирта, слабо свѣтящее пламя бензинной горѣлки имѣютъ синеватый или синій цвѣтъ. Сравнительно съ солнечнымъ свѣтомъ всѣ наши обычные свѣтовые источники являются желтоватыми или красноватыми (пламя свѣчи или костра при сильномъ солнечномъ освѣщеніи). Свѣтъ отъ раскаленнаго желѣза, нагрѣваемаго въ кузнечномъ горну, чрезъ разные оттѣнки краснаго („краснокалильный жаръ“), постепенно переходитъ въ бѣлый („бѣлокалильный жаръ“). Цвѣтъ раскаленнаго источника отчасти связанъ съ его температурою. Но особенное разнообразіе цвѣтности лучей наблюдается въ тѣхъ случаяхъ, когда въ жаркое (хотя само по себѣ слабо свѣтящее) пламя вносятъ нѣкоторыя вещества, въ немъ испаряющіяся и разлагающіяся. Напр., если въ слабо свѣтящее пламя бензинной или газовой горѣлки ввести немного обыкновенной соли или соды, то пламя становится ярко-желтымъ; такой же цвѣтъ принимаетъ пламя при накаливаніи въ немъ стеклянной трубки. Всѣмъ извѣстные фейерверочные или бенгальскіе огни, столь разнообразные по цвѣту, показываютъ намъ, насколько цвѣтъ пламени можетъ зависѣть и отъ того, какія вещества въ немъ раскалены [1].

---

[1] Интересно замѣтить, что цвѣтные лучи испускаются многими звѣздами; это видно и простымъ глазомъ, но гораздо лучше при сравненіи звѣздъ въ зрительную трубу (въ бинокль).

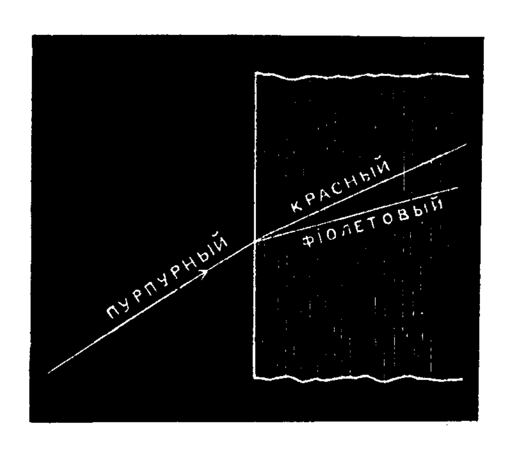
329. Отличая лучи по ихъ цвѣту, мы основываемся на различіяхъ въ ощущеніи, которое они производятъ на нашъ органъ зрѣнія. Это — различіе физіологическое. Но если лучи оказываютъ разное дѣйствіе на одинъ и тотъ же органъ нашихъ чувствъ, то между ними должно существовать конечно и какое-либо физическое различіе. Одинаково-ли они распространяются, отражаются, преломляются? Опытъ отвѣчаетъ на это, что лучи всякихъ источниковъ распространяются въ однородной средѣ прямолинейно, что скорость ихъ въ міровомъ пространствѣ одинакова [1] и что отражаются они одинаковымъ образомъ. Но явленіе преломленія ясно отличаетъ другъ отъ друга цвѣтные лучи. Именно лучи разнаго цвѣта неодинаково преломляются одною и тою же срединою (положимъ, какъ и прежде, при переходѣ изъ воздуха). Если напр. сравнить въ этомъ отношеніи красный и синій лучи, то окажется, что послѣдній въ нашихъ обыкновенныхъ прозрачныхъ срединахъ (примѣры см. выше, § 308) преломляется замѣтно сильнѣе перваго. Это различіе—въ усиленной противъ дѣйствительности степени—поясняется рис. 265, на которомъ двумъ одинаковымъ угламъ паденія (*a*) краснаго и синяго лучей соотвѣтствуютъ неодинаковые углы преломленія: для синяго луча меньшій, нежели для краснаго. По преломляемости въ стеклѣ, водѣ и пр. лучи располагаются въ слѣдующемъ порядкѣ: наименѣе преломляется красный; потомъ слѣдуютъ оранжевый, желтый, зеленый, синій; больше всѣхъ преломляется фіолетовый.



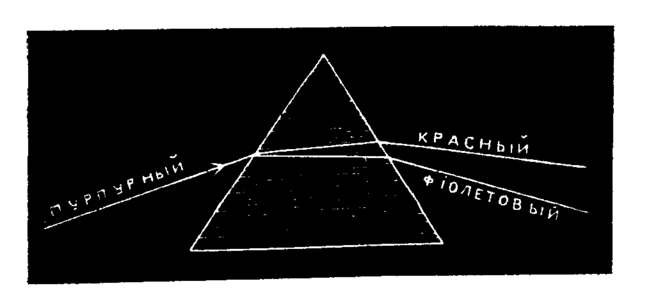
265.

[1] Въ міровомъ пространствѣ или, по выраженію физиковъ, въ средѣ „свободнаго эфира"; скорость же лучей разнаго цвѣта въ разныхъ тѣлахъ вообще различна.

Теперь положимъ, что, взявъ два свѣтовыхъ источника, изъ которыхъ одинъ даетъ чистый красный цвѣтъ, другой — чистый фіолетовый, мы соединили ихъ въ одинъ (какъ смѣшиваютъ напр. фейерверочные огни). Мы получимъ тогда источникъ пурпурнаго цвѣта. Если тонкій пучекъ такихъ лучей направимъ косвенно на кусокъ стекла, то послѣ преломленія составныя части пурпурнаго луча должны разъединиться, такъ какъ пойдутъ по различнымъ направленіямъ (рис. 266). Расхожденіе ихъ конечно еще увеличится, если пропустимъ пурпурный лучъ сквозь трехгранную призму (рис. 267). Отсюда мы видимъ, что помощью призмы, пользуясь различною преломляемостью цвѣтныхъ лучей, можно обнаружить „сложность" такихъ лучей, которые представляются нераздѣльными для нашего глаза.



266.

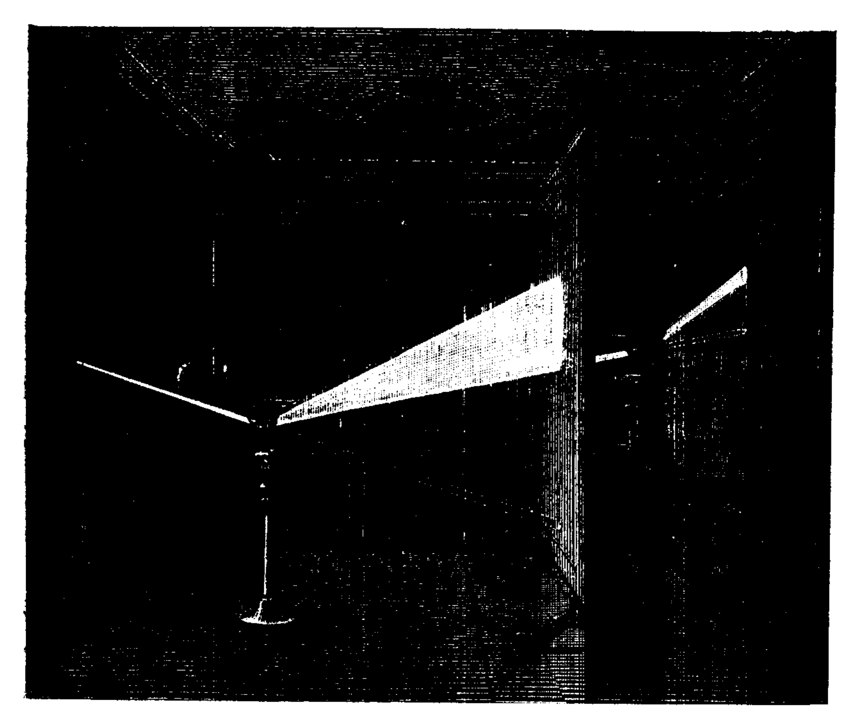


267.

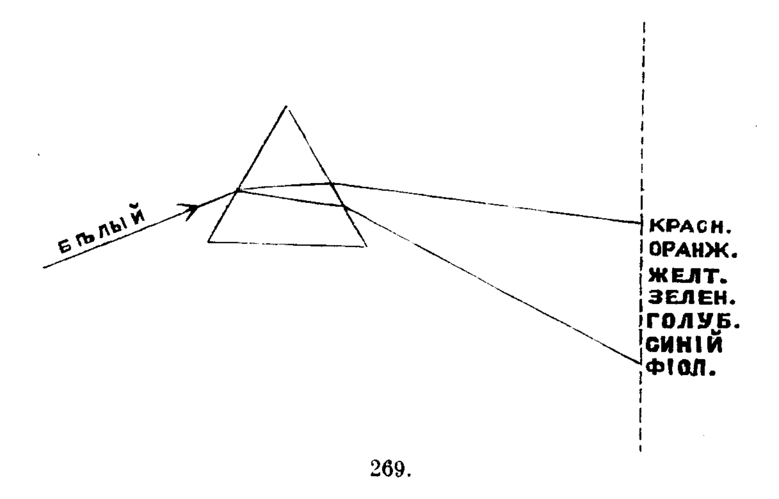
Сложность солнечнаго свѣта.

330. Обратимся теперь къ тому явленію радужныхъ цвѣтовъ, которое замѣчается при проходѣ солнечныхъ лучей

сквозь нѣкоторыя граненыя стекла или, лучше, сквозь трехгранную призму. Поставимъ призму на пути тонкаго



268.



269.

пучка солнечныхъ лучей, а позади призмы бѣлый экранъ (рис. 268): вмѣсто свѣтлаго бѣлаго пятна мы получимъ тогда на экранѣ полосу, состоящую изъ множества цвѣ-

товъ, между которыми хорошій глазъ различаетъ въ особенности слѣдующіе семь: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синій и фіолетовый. При томъ положеніи призмы, которое представлено на рис. 268, красный цвѣтъ будетъ внизу, а фіолетовый на верху. Если помѣстимъ призму однимъ изъ преломляющихъ угловъ вверхъ, рис. 269 (тогда пришлось бы конечно направить солнечный свѣтъ на призму помощью зеркала), то и вся цвѣтная полоса перевернется: фіолетовый цвѣтъ опять окажется болѣе отклоненнымъ въ сторону основанія призмы, чѣмъ синій, синій — болѣе голубого и т. д.; наименѣе отклонится красный. — Получаемый такимъ путемъ рядъ безчисленнаго множества цвѣтовъ, незамѣтно переходящихъ одинъ въ другой, называется призматическимъ солнечнымъ спектромъ. Надо впрочемъ замѣтить, что полученіе отчетливаго солнечнаго спектра требуетъ еще нѣкоторыхъ добавочныхъ приспособленій.

Послѣ сказаннаго выше о различной преломляемости цвѣтныхъ лучей конечно является вопросъ: не слѣдуетъ ли признать, что солнечный свѣтъ—сложный, и что онъ разлагается призмою вслѣдствіе различнаго преломленія составныхъ частей? Вопросъ конечно рѣшился бы утвердительно, если бы удалось соединеніемъ цвѣтныхъ лучей спектра снова получить бѣлый. И это дѣйствительно можно сдѣлать разными способами; изъ нихъ мы приведемъ здѣсь только два. 1) Принявъ спектръ на вогнутое зеркало или собирательное стекло, можно отыскать мѣсто, въ которомъ пересѣкаются и смѣшиваются между собою всѣ спектральные лучи: на помѣщенной здѣсь бѣлой бумагѣ получимъ тогда бѣлое пятно. 2) Картонный кружокъ, раздѣленный на семь частей (семь секторовъ), раскрашиваютъ яркими красками, по возможности подходящими къ главнымъ цвѣтамъ солнечнаго спектра. Кружокъ быстро вращаютъ, освѣтивъ его хорошимъ дневнымъ свѣтомъ (или горящимъ магніемъ): впечатлѣнія отдѣльныхъ красокъ смѣшиваются въ глазу, и кружокъ кажется почти бѣлымъ. Онъ, напротивъ, представится цвѣтнымъ, если на немъ не будетъ доставать какихъ либо изъ названныхъ выше красокъ. (Надо имѣть въ виду, что цвѣта красокъ, даже самыхъ „чистыхъ“, не тождественны со спектральными цвѣтами,

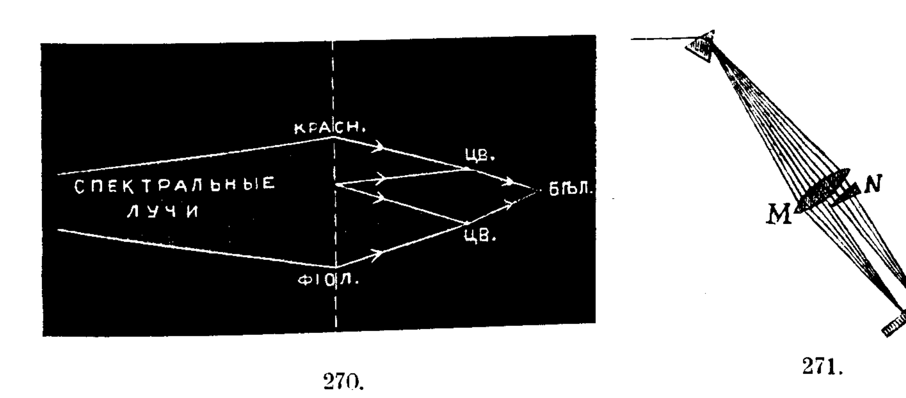
хотя бы и казались глазу одинаковыми; поэтому и смѣшеніе ихъ описаннымъ способомъ въ бѣлый можетъ быть сдѣлано лишь болѣе или менѣе приблизительно).

331. Не будемъ вдаваться въ разборъ труднаго вопроса, какъ именно представить себѣ „бѣлый“ свѣтъ сложеннымъ изъ „цвѣтныхъ“ лучей, а будемъ лишь слѣдовать указаніямъ опыта, которыя и сами по себѣ научаютъ насъ многому.

Разложеніе солнечнаго свѣта призмою, происходящее вслѣдствіе различной преломляемости его составныхъ частей, позволяетъ намъ теперь же условиться относительно того, что̀ считать простымъ, однороднымъ свѣтомъ. Если изъ солнечнаго спектра возьмемъ узкую полоску свѣта, напр. красную (сдѣлавъ въ экранѣ тонкую щель въ соотвѣтствующемъ мѣстѣ, см. выше рис. 268) и вторично пропустимъ его сквозь поставленную позади призму, то цвѣтной лучъ только преломится, но останется краснымъ. Такимъ образомъ, судя по впечатлѣнію на глазъ, взятый нами красный цвѣтъ болѣе не разлагается. Однако самая узкая полоска спектра имѣетъ нѣкоторую ширину, и слѣдов. лучи, соотвѣтствующіе ея краямъ, должны отличаться преломляемостью другъ отъ друга. Въ дѣйствительности разложеніе производится и второю призмою: только глазъ нашъ не въ состояніи различать очень близкихъ цвѣтовыхъ оттѣнковъ—подобно тому, какъ ухо не различаетъ тоновъ очень близкихъ по числу колебаній въ секунду. Но если представимъ себѣ полоску свѣта настолько узкую, чтобы различіемъ въ преломляемости ея краевъ можно было принебречь, то и получимъ достаточное для нашей цѣли понятіе о простомъ или однородномъ свѣтѣ. Въ окончательномъ выводѣ мы можемъ слѣдовательно сказать, что солнечный лучъ состоитъ изъ безчисленнаго множества простыхъ лучей, и что всѣ эти цвѣтные лучи физически отличаются другъ отъ друга своею преломляемостью [1].

[1] Нельзя не замѣтить, что поименованный выше (§ 330) порядокъ спектральныхъ цвѣтовъ связанъ съ разною преломляемостью лучей въ стеклѣ и большинствѣ другихъ прозрачныхъ тѣлъ. При разложеніи же свѣта нѣкоторыми срединами спектральные цвѣта располагаются и въ иной послѣдовательности.

332. Спектральные лучи можно соединять между собою или всѣ сразу, или по частямъ. Представимъ себѣ напр., что лучи нѣкоторой части спектра, начиная съ краснаго, соединены хотя бы съ помощью собирательнаго стекла, какъ упомянуто выше: полученный сложный свѣтъ будетъ цвѣтной. Съ другой стороны, положимъ, что лучи всей остальной части спектра, начиная фіолетовымъ концомъ, также собраны вмѣстѣ: слѣдствіемъ ихъ смѣшенія тоже будетъ свѣтъ окрашенный. Но пусть теперь цвѣтные лучи, полученные



270. 271.

чрезъ смѣшеніе порознь двухъ „дополняющихъ“ другъ друга частей спектра, будутъ соединены между собою: очевидно долженъ произойти бѣлый свѣтъ (см. пояснительный схематическій рис. 270). Выходитъ, что бѣлый свѣтъ можно получить чрезъ смѣшеніе лучей двухъ цвѣтовъ, извѣстнымъ образомъ подобранныхъ; такіе лучи или цвѣта называются взаимно-дополнительными. Такъ какъ изъ спектра можно выдѣлить двѣ дополняющихъ другъ друга части на безчисленное множество ладовъ, то слѣдовательно можно произвести безчисленное множество паръ цвѣтовъ, которые будутъ взаимно-дополнительными. — На опытѣ дополнительные цвѣта получаютъ напр. отклоняя призмочкою N (рис. 271) часть спектральныхъ лучей, прошедшихъ сквозь собирательное стекло M; тогда на экранѣ, вмѣсто одного бѣлаго пятна, появляются два цвѣтныхъ, окрашенныхъ дополнительными цвѣтами.—Вотъ нѣсколько паръ, дополняющихъ другъ друга до бѣлаго:

желтый и синій, оранжевый и голубой, красный и голубовато-зеленый [1].

Соединеніе или смѣшеніе цвѣтныхъ лучей надо отличать отъ смѣшиванія между собою красокъ, красящихъ веществъ. Результатъ смѣшенія можетъ сильно разниться въ обоихъ случаяхъ. Напр. соединеніемъ желтыхъ и синихъ лучей можно получить бѣлый, тогда какъ смѣшиваніе желтой и синей красокъ даетъ зеленую. Не говоря уже о томъ, что между цвѣтомъ краски и соотвѣтствующимъ ей спектральнымъ цвѣтомъ существуетъ разница, часто неуловимая для глаза, — результатъ смѣшенія красокъ усложняется еще нѣкоторыми другими явленіями.

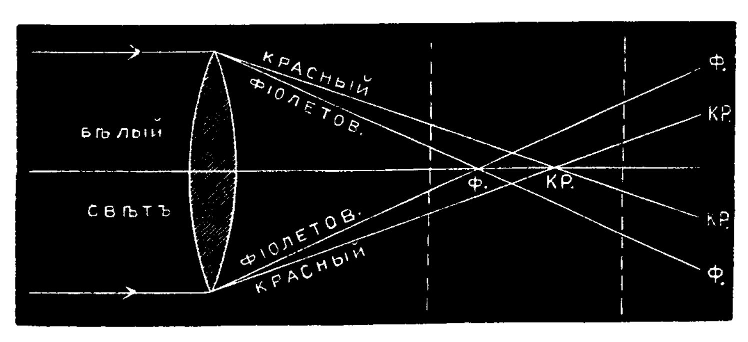
333. Сложностью солнечнаго свѣта можно объяснить себѣ появленіе тѣхъ цвѣтныхъ коймъ, которыя мы замѣчаемъ около предметовъ, разсматриваемыхъ сквозь призму. Онѣ происходятъ благодаря разложенію отраженнаго предметами дневного свѣта, который есть разсѣянный солнечный (часто впрочемъ измѣненный при отраженіи, какъ увидимъ дальше). Подобныя же цвѣтныя коймы мы легко замѣтимъ, смотря на предметъ сквозь двояковыпуклое стекло (напр. обыкновенное увеличительное, особенно по его краямъ). Преломляясь въ оптическомъ стеклѣ, лучи вмѣстѣ съ тѣмъ разлагаются, какъ въ призмѣ.

Великолѣпное явленіе радуги—также слѣдствіе сложности солнечнаго свѣта. Радужные цвѣта возникаютъ благодаря преломленію и разложенію солнечныхъ лучей въ дождевыхъ капляхъ; но разборъ происходящихъ при этомъ явленій — очень сложныхъ — былъ бы здѣсь неумѣстенъ. Въ брызгахъ фонтана, водопада и т. п. при подходящемъ освѣщеніи можно нерѣдко тоже видѣть радужные цвѣта.

334. Разложеніе свѣта оптическими стеклами дѣлаетъ необходимымъ одно замѣчаніе, служащее естественной поправкою къ тому, что говорилось о преломленіи въ стеклахъ въ послѣдней главѣ. Ограничимся собирательнымъ стекломъ. Пусть на него падаетъ пучекъ солнечнаго свѣта. Пройдя сквозь стекло, свѣтъ разложится, причемъ

[1] Любопытно, что бѣлый свѣтъ можно получить и чрезъ смѣшеніе двухъ простыхъ спектральныхъ лучей, подобранныхъ надлежащимъ образомъ.

фіолетовые лучи отклонятся всего больше, а красные—всего меньше. Фокусъ фіолетовыхъ лучей будетъ ближе къ стеклу, чѣмъ фокусъ красныхъ. Каждый родъ спектральныхъ лучей будетъ имѣть свой фокусъ (разница въ положеніи фокусовъ крайнихъ цвѣтныхъ лучей изображена въ преувеличенномъ видѣ на рис. 272). Это скажется радужными кольцами, которыя мы получимъ на



272.

бумагѣ вокругъ изображенія солнца. Слѣдовательно понятіе о „фокусѣ“ лучей для бѣлаго — и вообще сложнаго—свѣта теряетъ всякую опредѣленность. Необходимо условиться относительно цвѣта лучей спектра въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ. Все сказанное о преломленіи въ стеклахъ, строго говоря, относится къ простому, однородному свѣту.

Подобной же поправки требуетъ понятіе о показателѣ преломленія, данное въ § 310. Показатель преломленія служитъ мѣрою преломляемости лучей, которая для составныхъ частей солнечнаго спектра различна. При переходѣ лучей изъ воздуха въ воду мы принимали показатель преломленія равнымъ $^4/_3$, а въ обыкновенное стекло $^3/_2$. Это—округленныя числа, очень удобныя во многихъ случаяхъ. Въ дѣйствительности же каждому изъ простыхъ лучей солнечнаго спектра соотвѣтствуетъ свой показатель преломленія для данной пары средინъ, и при опредѣленіи показателей преломленія пользуются не бѣлымъ свѣтомъ, а какимъ-либо изъ простыхъ спектральныхъ цвѣтовъ. Упомянутая выше желтая окраска пламени, сообщаемая ему введеніемъ соды или обыкновенной соли, даетъ простое средство получить источникъ свѣта, который, какъ увидимъ ниже, можно считать въ достаточной мѣрѣ однороднымъ желтымъ свѣтомъ.

335. Для болѣе удобнаго и точнаго наблюденія спектра солнечнаго свѣта (и другихъ источниковъ, къ которымъ мы тотчасъ обратимся) служатъ приборы, называемые *спектроскопами*. Главныя составныя части спектроскопа—трехгранная призма (или нѣсколько призмъ) и оптическія стекла, прибавка которыхъ имѣетъ назначеніе сдѣлать спектръ болѣе отчетливымъ. Свѣтъ пропускается въ приборъ чрезъ узкую щель, имѣющуюся у одного конца прибора, проходитъ сквозь оптическія стекла и призмы и даетъ спектръ, который разсматривается прямо глазомъ въ увеличительное стекло, а не принимается сперва на экранъ [1].

Пользуясь спектроскопомъ, можно получить явственный спектръ и отъ *разсѣяннаго дневного свѣта*. Для этого лучше всего пропустить въ щель спектроскопа свѣтъ, отраженный отъ бѣлыхъ облаковъ или бѣлой стѣны. Всматриваясь теперь въ спектръ—при достаточно узкой щели—мы можемъ увидѣть въ немъ нѣкоторыя любопытныя подробности: мы замѣтимъ въ немъ *поперечныя темныя* полоски—какъ бы натянутыя поперекъ спектра тонкія черныя нити. Въ мѣстахъ, соотвѣтствующихъ этимъ полоскамъ, *свѣтъ спектра гораздо слабѣе*, чѣмъ въ остальныхъ частяхъ, вслѣдствіе чего полоски на болѣе свѣтломъ фонѣ кажутся черными. Въ солнечномъ спектрѣ, разсматриваемомъ въ сильные приборы, ихъ насчитываютъ *нѣсколько тысячъ*. Происхожденіе этихъ темныхъ полосокъ — называемыхъ „Фраунгоферовыми линіями“ — объяснится дальше.

Главные виды спектровъ.

336. Если мы направимъ щель спектроскопа на пламя свѣчи или керосиновой лампы, то увидимъ спектръ, вообще говоря, *очень сходный съ солнечнымъ*; при тщательномъ сравненіи можно замѣтить только, что фіолетовая часть пламени занимаетъ нѣсколько меньшее протяженіе, чѣмъ въ спектрѣ (хорошаго) дневного свѣта. Но въ спектрѣ пламени нѣтъ тѣхъ тонкихъ темныхъ полосокъ, о которыхъ упомянуто въ предыдущемъ §. Спектръ, въ которомъ всѣ цвѣта отъ краснаго до фіолетоваго слѣдуютъ другъ за другомъ безъ перерывовъ, называется *сплошнымъ* или *непрерывнымъ*. Сплошной спектръ мы получили бы и отъ раскаленнаго уголька электрической лампочки, и отъ раскаленныхъ углей т. наз. электрической или вольтовой дуги (свѣтъ сильныхъ электрическихъ фонарей). Раскаленное до-бѣла желѣзо и расплавленные чугунъ или стекло испускаютъ свѣтъ, также дающій сплошной спектръ. Вообще сильно раскаленныя *твердыя* и *жидкія* тѣла испускаютъ свѣтъ, дающій сплошной спектръ.

[1] Это краткое описаніе относится до маленькихъ (карманныхъ) приборовъ, которыми чаще всего приходится пользоваться для ознакомленія со спектрами. Въ подробности устройства мы здѣсь не входимъ.

Любопытныя измѣненія происходятъ со спектромъ раскаленныхъ твердыхъ (и жидкихъ) тѣлъ съ *измѣненіемъ температуры*. Мы знаемъ напр., что желѣзо, когда оно только что накалится до самосвѣченія, кажется темно-краснымъ. Если тогда принять его свѣтъ въ спектроскопъ, то можно видѣть въ спектрѣ почти что только одну красную часть: остальныя еще отсутствуютъ. Но по мѣрѣ того, какъ цвѣтъ желѣза, съ возвышеніемъ температуры, становится ярко-краснымъ и бѣлымъ, въ спектрѣ появляются мало по малу всѣ остальные лучи, такъ что наконецъ—при температурѣ сильнаго бѣлаго каленія — желѣзо испускаетъ свѣтъ подобный солнечному (если не считать въ послѣднемъ тонкихъ недохватовъ, соотвѣтствующихъ Фраунгоферовымъ линіямъ). То же относится до свѣта, испускаемаго всякимъ другимъ твердымъ или жидкимъ тѣломъ, которое подвергается все болѣе и болѣе сильному накаливанію. Отсюда мы видимъ еще разъ, что при совмѣстномъ дѣйствіи на глазъ всѣхъ спектральныхъ лучей отъ краснаго до фіолетоваго получается ощущеніе *бѣлаго* свѣта.

337. Послѣ этого понятно, что въ спектрѣ какого-нибудь *цвѣтного* источника мы уже не найдемъ всѣхъ спектральныхъ лучей: внѣшность спектра будетъ различна въ зависимости отъ цвѣта источника. Таковы спектры *раскаленныхъ паровъ* различныхъ веществъ, вводимыхъ въ достаточно жаркое пламя (§ 328). Но эти спектры представляютъ интересное и довольно неожиданное зрѣлище. Они состоятъ изъ *узкихъ цвѣтныхъ полосокъ, раздѣленныхъ темными промежутками*; каждая полоска занимаетъ

мѣсто, соотвѣтствующее тому же цвѣту въ сплошномъ спектрѣ. Положимъ напр., что получился спектръ изъ трехъ полосокъ: красной, синей и фіолетовой. Если рядомъ съ нимъ произвести въ томъ же приборѣ сплошной спектръ (въ нѣкоторыхъ спектроскопахъ имѣются приспособленія для подобнаго сравненія спектровъ), то окажется, что красная полоска будетъ лежать въ предѣлахъ, занимаемыхъ красною частью сплошного спектра, синяя—въ предѣлахъ синей его части, фіолетовая — въ предѣлахъ фіолетовой. Каждая изъ этихъ полосокъ соотвѣтствуетъ нѣкоторому совершенно опредѣленному цвѣтовому оттѣнку—лучамъ совершенно опредѣленной преломляемости. Такіе спектры называются линейчатыми.

Приведемъ нѣкоторые примѣры линейчатыхъ спектровъ (представляющихъ вообще огромное разнообразіе). Чисто-желтое пламя, о которомъ уже упоминалось выше (§§ 328 и 334) происходитъ вслѣдствіе разложенія обыкновенной соли или соды при высокой температурѣ: изъ нихъ выдѣляется металлъ натрій, раскаленные пары котораго и свѣтятся ярко-желтымъ цвѣтомъ. Спектръ такого „натріеваго" пламени (какъ его называютъ для краткости) есть одинъ изъ самыхъ простыхъ линейчатыхъ спектровъ. Въ обыкновенный спектроскопъ мы увидимъ въ немъ лишь одну желтую линію. Сильными приборами эта линія разъединяется на двѣ и болѣе (тоже желтыхъ) линіи; но въ большинствѣ случаевъ можно считать, что натріевое пламя испускаетъ простой или однородный желтый свѣтъ. Спектръ цинка, испаряющагося въ пламени, состоитъ изъ нѣсколькихъ линій въ синей и оранжевой частяхъ спектра. Спектръ раскаленныхъ паровъ мѣди содержитъ уже много линій, изъ которыхъ наиболѣе выдѣляются нѣсколько зеленыхъ, желтыхъ и красныхъ. Наконецъ, какъ примѣръ очень сложнаго линейчатаго спектра, назовемъ спектръ паровъ желѣза, содержащій нѣсколько тысячъ цвѣтныхъ линій.

Если направить щель спектроскопа на нижнюю часть пламени бензинной или газовой горѣлки, то можно видѣть очень красивый линейчатый спектръ, но съ нѣкоторою особенностью по сравненію съ предыдущими. Полагаютъ, что это спектръ паровъ угля или одного изъ углеводородовъ пламени.

Раскаленные газы (водородъ, азотъ, кислородъ и пр.) также испускаютъ свѣтъ, дающій линейчатые спектры. Вообще линейчатые спектры получаются отъ газообразныхъ тѣлъ, доведенныхъ до самосвѣченія. Спектры эти отличаются другъ отъ друга какъ числомъ цвѣтныхъ линій, такъ и ихъ положеніемъ, т. е. преломляемостью [1], или цвѣтовымъ оттѣнкомъ соотвѣтствующихъ лучей. Чтобы точно отмѣчать положеніе линій въ спектрѣ, въ нѣкоторыхъ спектральныхъ приборахъ имѣется особенная шкала съ дѣленіями; смотря въ приборъ на спектръ, видятъ его какъ бы наложеннымъ на эту шкалу и отмѣчаютъ, какимъ именно дѣленіямъ соотвѣтствуютъ тѣ или другія линіи спектра.

338. Кромѣ сплошныхъ и линейчатыхъ, извѣстенъ еще особый видъ спектровъ, происхожденіе которыхъ будетъ отчасти понятно изъ слѣдующихъ опытовъ. Помѣстимъ на пути спектральныхъ лучей, вышедшихъ изъ призмы (рис. 268 и 269), какое нибудь цвѣтное прозрачное тѣло, напр. густо окрашенное красное стекло. Спектръ на экранѣ тотчасъ измѣнится: въ немъ останется почти что только одна красная часть—остальная исчезнетъ или будетъ очень слаба (въ зависимости отъ толщины взятаго стекла). Если вмѣсто краснаго стекла возьмемъ густого цвѣта синее, то выдѣлится синяя часть спектра, а почти всѣ другіе цвѣта станутъ гораздо слабѣе. Всякая прозрачная средина задерживаетъ или поглощаетъ часть падающихъ на нее лучей (см. §§ 264 и 274); теперь мы еще видимъ, что красное и синее стекла невъ одинаковой степени пропускаютъ разные спектральные лучи: красное стекло пропускаетъ красные лучи, а синее — синіе предпочтительно передъ всякими другими. Иначе говоря, цвѣтная средина поглощаетъ лучи съ извѣстнымъ выборомъ. То же самое можно наблюдать, смотря въ спектроскопъ на разсѣянный дневной свѣтъ и держа передъ щелью прибора, т. е. на пути падающаго свѣта, тѣ или другія цвѣтныя стекла или цвѣтные растворы.

Такимъ образомъ происходятъ спектры, въ которыхъ нѣкоторыя части ослаблены или исчезли, вслѣдствіе того, что лучи соотвѣтствующей преломляемости были погло-

---

[1] Показателемъ преломленія.

щены на своемъ пути разными веществами. Въ этихъ спектрахъ, называемыхъ *спектрами поглощенія*, иногда не достаетъ значительныхъ частей сплошь, какъ въ нашихъ примѣрахъ. Но часто спектръ бываетъ лишенъ *узкихъ долекъ* въ разныхъ областяхъ (при этомъ поглощающее лучи тѣло можетъ для глаза казаться и безцвѣтнымъ). Тогда онъ представляется намъ перерѣзаннымъ, на сплошномъ спектральномъ фонѣ, поперечными темными полосками [1]. Таковъ *солнечный спектръ* съ его Фраунгоферовыми линіями.

339. Итакъ можно указать *три главныхъ вида или типа спектровъ*. 1) Сплошной спектръ, содержащій всѣ спектральные цвѣта отъ краснаго до фіолетоваго; онъ происходитъ отъ разложенія свѣта, испускаемаго раскаленными до-бѣла твердыми или жидкими тѣлами. 2) Линейчатый, состоящій изъ нѣсколькихъ или многихъ цвѣтныхъ полосокъ, положеніе которыхъ на шкалѣ спектроскопа связано съ преломляемостью соотвѣтствующихъ имъ лучей; таковъ вообще спектръ тѣлъ въ газообразномъ состояніи. 3) Спектръ поглощенія—такой, въ которомъ нѣкоторыя части ослаблены поглощеніемъ лучей настолько, что кажутся темными по сравненію съ остальными. Надо впрочемъ прибавить, что приведенные выше немногіе примѣры спектровъ не даютъ и отдаленнаго понятія объ ихъ изумительномъ разнообразіи.

Сложность свѣта солнца и другихъ раскаленныхъ тѣлъ приводитъ къ слѣдствіямъ, имѣющимъ чрезвычайно важное значеніе для пониманія окружающаго насъ міра красокъ, какъ сейчасъ увидимъ.

О разнообразіи цвѣта тѣлъ.

340*. *Цвѣтовое впечатлѣніе*, производимое тѣломъ, конечно обусловливается цвѣтомъ тѣхъ лучей, которые *посылаются имъ нашему глазу*. Когда мы получаемъ отъ тѣла всѣ лучи, отъ краснаго до фіолетоваго, въ томъ самомъ количественномъ соотношеніи, въ какомъ они образуютъ бѣлый,—глазъ нашъ конечно увидитъ предметъ *бѣлымъ*. Но если въ воспринимаемыхъ нами лучахъ нѣкоторыхъ спектральныхъ цвѣтовъ не хватаетъ, или же ихъ меньше, чѣмъ сколько нужно для образованія бѣлаго, то мы увидимъ предметъ *окрашеннымъ* такъ или иначе, смотря по составу свѣта, дошедшаго до нашего органа зрѣнія. Мы уже узнали, что газообразныя тѣла, доведенныя до самосвѣченія, испускаютъ тѣ или иные лучи въ зависимости отъ вещественнаго различія, и что отъ этого зависитъ разнообразіе цвѣта многихъ свѣтовыхъ источниковъ (цвѣтъ ихъ частью зависитъ и отъ температуры, см. §§ 328 и 336). Что же касается разнообразія цвѣта не-самосвѣтящихъ тѣлъ, т. е. такихъ, которыя мы видимъ благодаря отраженному или пропущенному свѣту, то оно обусловливается свойствомъ тѣлъ *неодинаково поглощать лучи разнаго цвѣта* или разной преломляемости. Описанный выше (§ 338) опытъ съ цвѣтными стеклами ясно указываетъ на поглощеніе ими однихъ лучей предпочтительно передъ другими.

[1] Ихъ хорошо можно наблюдать помощью карманнаго спектроскопа, пропустивъ дневной свѣтъ или свѣтъ лампы напр. чрезъ скляночку съ слабымъ растворомъ *марганцовокаліевой соли* или сквозь колбочку съ *іодомъ*, который нагрѣваніемъ превращенъ въ пары.

По отношенію къ прозрачнымъ тѣламъ въ томъ же можно убѣдиться и болѣе простыми опытами—не получая спектра. 1) Если на желтое *натріевое пламя* будемъ смотрѣть сквозь желтое стекло, то яркость пламени не измѣнится сколько-нибудь замѣтно; но если возьмемъ синее стекло, то ясно увидимъ сквозь него только синее пламя бензинной горѣлки: желтый свѣтъ будетъ задержанъ стекломъ. 2) Станемъ разсматривать куски бумаги разнаго цвѣта сквозь цвѣтныя стекла: возьмемъ напр. красную и синюю бумагу и такого же цвѣта стекла. Красная бумага сквозь синее стекло (при надлежащемъ подборѣ оттѣнковъ) покажется почти черной. Почему? Потому что синее стекло почти не пропускаетъ красныхъ лучей, которые именно преобладаютъ въ свѣтѣ, посылаемомъ красною бумагою. Равнымъ образомъ синяя бумага представится почти черною при разсматриваніи сквозь красное стекло, потому что послѣднее сильно задерживаетъ какъ разъ тѣ лучи (синіе), которыхъ всего больше посылаетъ намъ синяя поверхность. 3) Наложимъ красное стекло на синее и посмотримъ тогда сквозь нихъ на дневной свѣтъ: если цвѣтовые оттѣнки стеколъ

хорошо подобраны, то такое двойное стекло покажется очень темнымъ, почти чернымъ. Если къ окну было, положимъ, обращено синее стекло, то изъ падающаго на него дневного свѣта оно пропуститъ главнымъ образомъ синіе лучи; но синіе лучи именно и задерживаются краснымъ стекломъ.

Безцвѣтнымъ мы назовемъ прозрачное тѣло тогда, когда поглощеніе имъ составныхъ частей падающаго на него свѣта не вліяетъ на цвѣтовое ощущеніе, производимое лучами послѣ того, какъ они прошли сквозь это тѣло. Такое поглощеніе можно назвать „безразличнымъ“—въ отличіе отъ „избирательнаго“, съ которымъ связана цвѣтность тѣлъ. Надо впрочемъ замѣтить, что совершенно безцвѣтныхъ тѣлъ нѣтъ; тѣло, безцвѣтное въ тонкомъ слоѣ, является окрашеннымъ, когда свѣту приходится проникать сквозь достаточно толстый слой его. Самая чистая вода напр. оказывается тогда голубого цвѣта.

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что наше обычное понятіе о „прозрачности“ должно быть дополнено. Тѣло можетъ быть очень прозрачно для однихъ лучей и мало прозрачно или непрозрачно для другихъ.

341*. Обратимся теперь къ такъ называемымъ непрозрачнымъ веществамъ. Совершенно непрозрачныхъ веществъ нѣтъ: тѣ или другіе лучи, за вычетомъ отраженныхъ съ поверхности, проникаютъ въ тѣло, хотя и на очень малую глубину. Пусть вещество тѣла таково, что поглощаетъ всѣ спектральные лучи, кромѣ красныхъ. При освѣщеніи его, положимъ, дневнымъ свѣтомъ, сложные лучи, проникая на нѣкоторую глубину, подвергаются „избирательному“ поглощенію. Отражаясь же отъ частичекъ внутри тѣла наружу, лучи снова проходятъ сквозь поверхностные слои вещества и на пути опять лишаются тѣхъ же составныхъ частей, что и прежде. Выходитъ, что въ разсѣянныхъ чрезъ отраженіе лучахъ, достигающихъ отъ поверхностныхъ слоевъ до нашего глаза, красные лучи будутъ сильно преобладать надъ остальными: тѣло явится намъ краснаго цвѣта.

Вотъ нѣсколько относящихся сюда пояснительныхъ опытовъ. 1) Направимъ солнечные лучи или разсѣянный дневной свѣтъ (или же лучи искусственнаго источника бѣлаго свѣта) на листъ цвѣтной бумаги такъ, чтобы отраженные

ею лучи падали потомъ на бѣлую бумагу: послѣдняя освѣтится въ цвѣтъ взятой окрашенной бумаги. Разсматриваніе свѣта, разсѣянно-отраженнаго цвѣтною бумагой, въ спектроскопъ также ясно покажетъ преобладаніе въ спектрѣ нѣкоторыхъ лучей, соотвѣтственно окраскѣ бумаги. 2) Будемъ помѣщать листъ цвѣтной бумаги въ разныя части сплошного спектра (полученнаго на экранѣ отъ солнца или искусственнаго источника бѣлаго свѣта) и замѣтимъ, какъ измѣняется ея цвѣтъ. Красная бумага останется такою лишь въ красной части; въ среднихъ частяхъ спектра она темнѣетъ, а въ синей части кажется почти черною. Красная краска именно поглощаетъ болѣе преломляемые лучи предпочтительно передъ другими; поэтому, находясь напр. въ синей части, „красная“ бумага почти не посылаетъ свѣтовыхъ лучей нашему глазу — дѣлается „черной“. Сдѣлавъ опытъ съ синею бумагой, увидимъ, что она будетъ очень темною въ менѣе преломляемыхъ лучахъ спектра (красныхъ, оранжевыхъ, желтыхъ), лучахъ, которые предпочтительно поглощаются синей краской.—Подобныя же измѣненія цвѣта хорошо можно наблюдать, освѣщая цвѣтную бумагу цвѣтными источниками свѣта (свѣтомъ сильной лампы, пропущеннымъ чрезъ цвѣтное стекло, пламенемъ бензинной лампы, въ которомъ испаряются нѣкоторыя соли, или же такъ наз. бенгальскими огнями). 3) Наконецъ и разсматриваніе цвѣтной бумаги сквозь цвѣтныя стекла (§ 340) приводитъ къ тому же выводу, т. е. что въ разсѣянно-отраженныхъ лучахъ, посылаемыхъ окрашенною поверхностью нашему глазу, преобладаютъ лучи того цвѣта, какого намъ представляется бумага.

Бѣлою мы называемъ такую поверхность, которая не измѣняетъ цвѣта лучей послѣ ихъ отраженія. Бѣлая бумага, освѣщаемая синими лучами, будетъ имѣть синій цвѣтъ, при освѣщеніи красными—красный. Дневной (бѣлый) свѣтъ, по отраженіи отъ такой бумаги, сохраняетъ свой спектральный составъ—остается бѣлымъ [1].

[1] То же самое вообще можно сказать о лучахъ, отраженныхъ отъ наружной поверхности цвѣтного тѣла. Поэтому при дневномъ освѣщеніи мы видимъ цвѣтъ тѣлъ съ большею или меньшею примѣсью поверхностно-отраженнаго бѣлаго свѣта, — цвѣтъ какъ бы разбавленный бѣлымъ.

Всякій знаетъ изъ повседневной жизни, какъ цвѣтъ предметовъ можетъ измѣняться при переходѣ отъ дневного свѣта къ вечернему освѣщенію свѣчами или лампами. Очень рѣзко бываетъ напр. измѣненіе голубого цвѣта матерій въ зеленый; это объясняется слѣдующимъ образомъ. Голубая краска обыкновенно отражаетъ (разсѣиваетъ) не только голубые спектральные лучи, но въ меньшей степени также сосѣдніе съ ними синіе и зеленые. Въ свѣтѣ лампы напряженность синихъ лучей относительно меньше, нежели въ солнечномъ; поэтому въ отраженныхъ голубою краскою лучахъ синяя часть будетъ слабѣе при вечернемъ освѣщеніи, чѣмъ при дневномъ,—зеленый станетъ замѣтнѣе. Извѣстно также, какъ измѣняется цвѣтъ предметовъ (весь „колоритъ" мѣстности) при освѣщеніи луннымъ свѣтомъ, свѣтомъ зари или заревомъ пожара.

342*. Итакъ цвѣтъ тѣла зависитъ какъ отъ свойствъ самого тѣла, такъ и отъ рода освѣщающихъ его лучей. Мы привыкли считать „настоящими" цвѣтами тѣлъ тѣ, которые они имѣютъ при хорошемъ дневномъ освѣщеніи. Но эти цвѣта, какъ мы видимъ, тѣснѣйшимъ образомъ связаны съ составомъ солнечнаго свѣта. Если бы въ немъ совсѣмъ не было одного изъ главныхъ спектральныхъ цвѣтовъ, напр. краснаго, то всѣ тѣ предметы, которые пропускаютъ или отражаютъ (разсѣиваютъ) предпочтительно красные лучи, при дневномъ освѣщеніи были бы темными. Напротивъ, если бы земля освѣщалась однороднымъ краснымъ свѣтомъ, то нынѣшніе „красные" предметы выиграли бы отъ этого въ яркости, но за то бо̀льшая часть другихъ были бы темными. Разнообразіе цвѣта тѣлъ—слѣдствіе сложности солнечнаго свѣта и различнаго отношенія тѣлъ къ цвѣтнымъ лучамъ. Все вообще богатство красокъ въ нашей природѣ обусловливается безконечнымъ разнообразіемъ цвѣтныхъ лучей, входящихъ въ составъ солнечнаго свѣта.

Какимъ образомъ судятъ о природѣ тѣла по испускаемому или поглощаемому имъ свѣту.

343. Мы видѣли, что внѣшность спектра раскаленнаго тѣла зависитъ какъ отъ состоянія тѣла (твердаго или жидкаго съ одной стороны и газообразнаго—съ другой), такъ и отъ его химической природы. Отсюда слѣдуетъ наоборотъ, что по виду спектра можно сдѣлать заключенія о томъ, въ какомъ состояніи тѣло находится, и какія простыя тѣла входятъ въ его составъ. Сплошной спектръ указываетъ вообще на твердое или жидкое состояніе свѣтового источника, линейчатый—на газообразное. Что же касается состава, то о немъ можно судить, тщательно сравнивая изученные уже спектры раскаленныхъ тѣлъ въ газообразномъ состояніи со спектрами тѣхъ тѣлъ, составъ которыхъ хотятъ узнать. Очень важную услугу оказываютъ при этомъ и „спектры поглощенія" (§§ 338 и 339). Если свѣтъ, положимъ бѣлый, проходя сквозь какое-нибудь вещество, лишается нѣкоторыхъ составныхъ частей, то въ спектрѣ окажутся темные промежутки (недочеты) въ тѣхъ мѣстахъ, которые соотвѣтствуютъ преломляемости поглощенныхъ лучей. Сравнивая этотъ спектръ съ различными извѣстными уже спектрами поглощенія, можно сдѣлать заключеніе о химическомъ составѣ того вещества, чрезъ которое прошелъ на пути бѣлый свѣтъ. (Сравненіе спектровъ бываетъ нерѣдко дѣломъ чрезвычайно хлопотливымъ; производство наблюденій требуетъ знанія многаго, о чемъ здѣсь по необходимости приходится умолчать).

344. Важное значеніе изложеннаго пріема будетъ понятно изъ слѣдующаго.

Во-первыхъ, онъ отличается необыкновенною „чувствительностью". Если напр. въ отдаленныхъ другъ отъ друга углахъ комнаты поставить двѣ газовыхъ горѣлки и на пламя одной изъ нихъ направить щель спектроскопа, а въ пламя другой ввести немного обыкновенной соли, то скоро характерная черта „натріеваго свѣта" появляется въ спектрѣ перваго пламени. Эта черта вообще часто бываетъ видна въ спектрѣ пламени; тѣхъ мельчайшихъ частицъ натріевыхъ солей, которыя почти повсемѣстно распространены въ воз-

духѣ (именно главнымъ образомъ изъ морской воды), уже достаточно, чтобы произвести мелькающій спектръ натрія; вполнѣ избавиться отъ него можно только искусственными мѣрами. Наблюденіемъ спектра удается замѣтить слѣды нѣкоторыхъ веществъ настолько ничтожные, что ихъ нельзя было бы обнаружить самымъ тщательнымъ химическимъ анализомъ. Открытіе нѣсколькихъ новыхъ простыхъ тѣлъ по незначительнымъ слѣдамъ было сдѣлано именно этимъ способомъ.

345*. Другое примѣненіе того же самаго пріема даетъ намъ такія свѣдѣнія, которыхъ уже никоимъ образомъ не могъ бы доставить намъ химическій анализъ. Для полученія спектра почти безразлично, находится ли свѣтовой источникъ у самаго спектроскопа или на иномъ, хотя бы и очень большомъ разстояніи: нужно лишь, чтобы свѣтъ отъ источника достигалъ до прибора. Слѣдовательно мы имѣемъ здѣсь средство судить о химическомъ составѣ тѣла, которое само по себѣ можетъ быть для насъ недоступно. Но таково именно солнце, таковы другія самосвѣтящіяся небесныя тѣла. Спектроскопъ (когда нужно, прилаженный къ астрономическимъ трубамъ) позволяетъ сдѣлать—съ полною увѣренностью—кое-какія заключенія о простыхъ веществахъ, находящихся на солнцѣ и на тѣлахъ звѣзднаго міра, удаленныхъ отъ насъ большею частью на неизмѣримо большія разстоянія. Вопросъ о томъ, находится ли данное тѣло въ твердомъ или жидкомъ или же въ газообразномъ состояніи, иногда также рѣшается спектральными наблюденіями.

346. Описанный выше пріемъ—съ нѣкоторыми добавленіями, о нѣкоторыхъ здѣсь было бы неумѣстно распространяться,—получилъ названіе спекральнаго анализа. Вотъ нѣсколько результатовъ первостепенной важности, добытыхъ многочисленными и тщательными спектральными изслѣдованіями по отношенію къ тѣламъ небеснаго міра.

Наше солнце есть сильно раскаленное тѣло, которое съ поверхности покрыто сравнительно тонкимъ слоемъ менѣе высокой температуры. Лучи центральнаго ядра, проходя сквозь эту оболочку, частью поглощаются составляющими ее веществами, вслѣдствіе чего и происходятъ темныя полоски (Фраунгоферовы линіи) въ солнечномъ спектрѣ. Водородъ и металлы въ газообразномъ состояніи между которыми напр. много паровъ желѣза, — вотъ главныя составныя части поверхностнаго слоя. Въ этой своеобразной „атмосферѣ“ нашего свѣтила непрерывно происходятъ такія перемѣщенія массъ, такія бури, о силѣ которыхъ нельзя составить себѣ и приблизительнаго понятія по нашимъ земнымъ.

Любопытно, что спектральнымъ путемъ на солнцѣ было найдено новое простое тѣло, названное геліемъ (отъ Helios—солнце), которое лишь 25 лѣтъ спустя открыто было на землѣ.

Судя по спектрамъ звѣздъ, входящіе въ ихъ составъ газы и пары металловъ относятся къ числу извѣстныхъ намъ и на землѣ.

Въ окончательномъ выводѣ, спектроскопъ открылъ для изслѣдованій огромную новую область, полную захватывающаго интереса, и указалъ на единство химическаго состава всего доступнаго нашимъ наблюденіямъ міра. Таковы результаты научной пытливости, направленной на столь общеизвѣстное явленіе, какъ полоска радужныхъ цвѣтовъ, производимая кускомъ граненаго стекла...

---

340. Цвѣтная прозрачная средина обыкновенно пропускаетъ не одинъ только родъ лучей. Напр. *желтое* стекло пропускаетъ красный, желтый и зеленый, а *синее*—либо зеленый, синій и фіолетовый, либо—синій и немного краснаго. Если положить желтое стекло на синее, то каковъ будетъ въ обоихъ случаяхъ цвѣтъ проходящихъ насквозь лучей? *Отв.* Въ первомъ *зеленый*, во второмъ *красный*. — Положимъ, что бѣлый свѣтъ падаетъ на двѣ цвѣтныя прозрачныя средины, наложенныя одна на другую. Въ какомъ соотношеніи долженъ быть цвѣтъ обѣихъ срединъ, чтобы *весь свѣтъ былъ ими задержанъ? Отв.* Цвѣта срединъ должны быть взаимно-дополнительными (§ 332).—Судя по сказанному въ концѣ § 340 о цвѣтѣ чистой воды, какого измѣненія можно ожидать въ спектрѣ бѣлаго свѣта, прошедшаго сквозь достаточно толстый слой воды? — **341.** Какого цвѣта показалась бы намъ листва деревьевъ при освѣщеніи чистымъ (простымъ) краснымъ цвѣтомъ? — Тѣло, отражающее *красные* и *зеленые* лучи, кажется *желтымъ* при освѣщеніи бѣлымъ свѣтомъ. Какимъ оно явится въ красныхъ лучахъ и какимъ въ зеленыхъ?—**340** и **341**. Одинаковымъ ли образомъ измѣняется цвѣтъ и густота окраски окружающихъ насъ предметовъ, если смотрѣть на нихъ сквозь цвѣт-

ное стекло, напр. красное или синее? — **342**. Между звѣздами извѣстно не мало *цвѣтныхъ*. Если бы какая-нибудь планета, *подобная землѣ*, освѣщалась чисто синею звѣздою — синимъ солнцемъ—то каковы были бы, въ общихъ чертахъ, цвѣта предметовъ? Представляли ли бы они такое же разнообразіе, какъ при освѣщеніи нашимъ солнцемъ? — **345**. Примѣнимъ ли спектральный анализъ также и къ планетамъ? Каковъ долженъ быть, въ общихъ чертахъ, спектръ планетъ и луны?

XX.

О глазѣ, зрѣніи и оптическихъ приборахъ, вооружающихъ глазъ (микроскопъ, телескопъ).

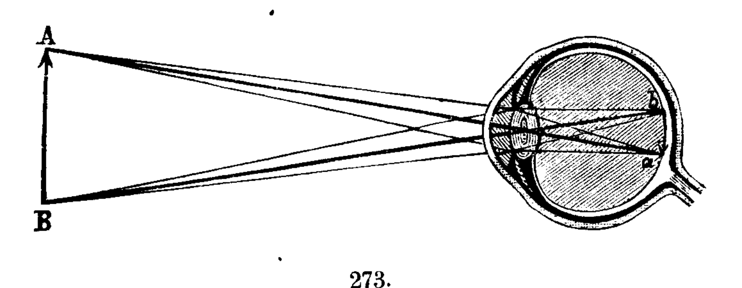
Устройство глаза и условія, при которыхъ возможно зрѣніе.

347. Воспріятіе нами свѣта и цвѣтовъ зависитъ отъ возбужденія или раздраженія особаго рода нервовъ, идущихъ отъ головного мозга къ глазу и оканчивающихся въ немъ тончайшими развѣтвленіями. Ощущеніе темноты соотвѣтствуетъ полному покою нервныхъ окончаній; всякое же раздраженіе ихъ производитъ свѣтовое ощущеніе. Обыкновенно это раздраженіе причиняется „свѣтовыми“ лучами, падающими на нервную оболочку въ глазу (такъ называемую сѣтчатку) отъ предметовъ внѣшняго міра. Но ощущенія свѣта и цвѣтовъ могутъ возникать и отъ дѣйствія другихъ причинъ, раздражающихъ зрительные нервы. Напр. надавливаніе на закрытый глазъ или ударъ по нему могутъ вызвать въ немъ ощущеніе свѣта. Такія же ощущенія происходятъ въ немъ и отъ давленія крови въ его кровеносныхъ сосудахъ: отсюда тѣ слабыя и неопредѣленныя свѣтовыя явленія, которыя постоянно замѣчаются нами даже при закрытыхъ глазахъ.

Но для различенія внѣшнихъ предметовъ или ихъ частей для зрѣнія, еще не достаточно, чтобы лучи внѣшнихъ предметовъ попадали на нервную ткань: необходимы особыя приспособленія, благодаря которымъ лучи, исходящіе изъ

одной какой либо точки, падали бы на опредѣленную точку сѣтчатки, и чтобы на это мѣсто не могли одновременно попасть лучи отъ другихъ точекъ. Тогда разныя точки сѣтчатки будутъ возбуждаться отдѣльно: явится возможность различія подробностей внѣшнихъ предметовъ.

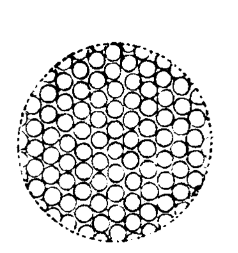
348. Относительно строенія нашего глаза (въ дѣйствительности чрезвычайно сложнаго) необходимо замѣтить себѣ лишь слѣдующее. Глазное яблоко состоитъ снаружи изъ прочной бѣлой оболочки, передняя часть которой, нѣсколько болѣе выпуклая и прозрачная, называется роговой оболочкою (на рис, 273 изображенъ въ сильно упрощенномъ видѣ разрѣзъ глазного яблока). Внутренность



273.

глаза выполнена прозрачнымъ веществомъ, среди котораго, близко къ роговой оболочкѣ, находится замѣчательное двояковыпуклое тѣло, называемое хрусталикомъ; оно весьма прозрачно и по формѣ походитъ на двояковыпуклую чечевицу; но кривизна поверхностей этой своеобразной оптической чечевицы можетъ измѣняться: хрусталикъ, смотря по обстоятельствамъ (о чемъ ниже), можетъ дѣлаться то площе, то выпуклѣе. Спереди хрусталикъ примыкаетъ къ такъ называемой радужной оболочкѣ (придающей глазу тотъ или иной цвѣтъ); въ послѣдней, противъ средины хрусталика, имѣется отверстіе, называемое зрачкомъ. Съ задней части глазного яблока входитъ въ глазъ зрительный или оптическій нервъ, имѣющій видъ бѣлаго шнурка; онъ состоитъ изъ множества тончайшихъ волоконъ, которыя своими окончаніями главнымъ образомъ составляютъ внутреннюю оболочку глаза, обращенную въ сторону его прозрачнаго содержимаго; эта „сѣтчатая оболочка“ или сѣтчатка и есть тотъ нервный слой, который подвер-

гается дѣйствію проникающихъ въ глазъ свѣтовыхъ лучей. Въ сильно упрощенномъ видѣ этотъ слой можно представить себѣ состоящимъ изъ множества мельчайшихъ участковъ нервнаго вещества (рис. 274), изъ которыхъ каждый, чрезъ посредство одного изъ волоконъ зрительнаго нерва, сообщается съ головнымъ мозгомъ.



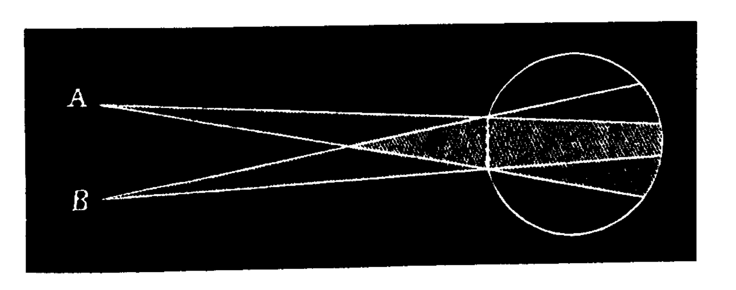
274.

349. Теперь положимъ, что мы смотримъ на нѣкоторую точку, находящуюся отъ глаза не ближе того разстоянія, на которомъ мы безъ затрудненія еще можемъ ясно видѣть предметы. Вотъ что тогда происходитъ въ нашемъ органѣ зрѣнія. Свѣтовой пучекъ, посылаемый точкою *A* (см. выше рис. 273), пройдя сквозь проломляющія средины глаза, становится сходящимся, и его вершина, т. е. фокусъ точки *A*, падаетъ какъ разъ на сѣтчатую оболочку. Соотвѣтствующее нервное окончаніе *a* сѣтчатки возбуждается, и это возбужденіе или раздраженіе передается по волокну зрительнаго нерва головному мозгу, гдѣ оно воспринимается какъ свѣтовое ощущеніе, производимое внѣшней точкой *A*.

Если по сосѣдству съ точкой *A* находится другая, *B*, то фокусъ послѣдней упадетъ уже на другую точку сѣтчатки (*b*), такъ что возбужденію подвергнется уже иное нервное окончаніе, и въ головномъ мозгу получится впечатлѣніе точки отличной отъ *A*. Конечно все равно, будутъ ли точки *A* и *B* самосвѣтящимися или же точками какой либо освѣщенной поверхности. Двумъ разнымъ точкамъ *A* и *B* будутъ сооотвѣтствовать въ мозгу два разныхъ, такъ сказать, точечныхъ впечатлѣнія. Отсюда возможность различать сосѣднія точки предмета другъ отъ друга, возможность разсматриванія или зрѣнія.

Какъ видимъ отсюда, необходимое условіе зрѣнія—то, чтобы лучи отдѣльныхъ точекъ предмета дѣйствовали и на отдѣльные участки сѣтчатой оболочки. Выходитъ, что отдѣльныя точки сѣтчатки чрезъ посредство свѣтовыхъ лучей сносятся съ разными точками разсматриваемаго предмета,—какъ бы касаются ихъ. Чтобы лучше понять всю

важность этого условія, представимъ себѣ, что въ нашемъ глазу не было бы срединъ, собирающихъ лучи на сѣтчаткѣ, а имѣлось бы просто нѣчто вродѣ плоскаго окошка, чрезъ которое свѣтъ проникалъ бы въ глазъ расходящимися пучками (рис. 275). Ясно, что тогда свѣтовой пучекъ точки *A*



275.

образовалъ бы на сѣтчаткѣ не точку, а болѣе или менѣе широкое свѣтовое пятно; свѣтовые пучки двухъ сосѣднихъ точекъ *A* и *B*, попадая въ глазъ, частью налагались бы другъ на друга, сѣтчатка не получала бы двухъ раздѣльныхъ впечатлѣній отъ *A* и *B*, и возможность различенія точекъ *A* и *B* исчезла бы. Съ тѣмъ вмѣстѣ исчезла бы и возможность зрѣнія: глазъ могъ бы лишь различать разныя степени свѣта и темноты.

Нѣчто подобное происходило бы конечно и въ томъ случаѣ, если бы лучи точки *A* сходились не на самой сѣтчаткѣ, — напр. если бы они достигали ея еще не успѣвъ сойтись или уже сойдясь передъ нею. Вмѣсто точки, на сѣтчаткѣ получалось бы свѣтовое пятно, воспринимаемыя изображенія были бы неотчетливыми (расплывчатыми), и мы не могли бы хорошо различать подробностей предмета.

350. Изъ сдѣланнаго раньше краткаго описанія видно, что глазъ въ оптическомъ отношеніи походитъ на фотографическую камеру (см. выше § 325). Приблизительно сферическія преломляющія средины глаза соотвѣтствуютъ собирательному стеклу (объективу) камеры, а сѣтчатка—той пластинкѣ, на которой получается изображеніе внѣшнихъ предметовъ. Точно такое изображеніе—

дѣйствительное обратное уменьшенное—рисуется на сѣтчатой оболочкѣ, и чѣмъ оно отчетливѣе, тѣмъ лучше глазъ видитъ предметъ.

Геометрическое построеніе изображеній отдѣльныхъ точекъ предмета на сѣтчаткѣ очень облегчается тѣмъ обстоятельствомъ, что на нее именно должно падать изображеніе, когда глазъ ясно видитъ предметъ. Всѣ преломляющія средины глаза можно представить себѣ замѣненными одною оптической чечевицею; точка, чрезъ которую лучи проходятъ безъ преломленія (см. § 322), называется узловою: на нашихъ упрощенныхъ чертежахъ мы помѣщаемъ ее въ срединѣ хрусталика. Тогда стòитъ лишь провести чрезъ нее прямую линію отъ точки A предмета (стрѣлка AB рис. 273) до встрѣчи съ сѣтчаткою въ a, чтобы опредѣлилось мѣсто изображенія точки A.

351*. Глазъ нашъ въ состояніи различить тѣмъ больше подробностей, чѣмъ больше раздвинуты на сѣтчаткѣ изображенія отдѣльныхъ точекъ даннаго предмета, другими словами—чѣмъ больше уголъ между прямыми Aa и Bb, проведенными отъ соотвѣтственныхъ точекъ предмета черезъ средину хрусталика (см. рис. 273). Этотъ уголъ называется угломъ зрѣнія. Человѣкъ средняго роста (5 фут. или $1^1/_2$ метр.) на разстояніи около 40 саженъ (120 шаговъ) представляется намъ подъ угломъ зрѣнія около 1°; подъ тѣмъ же угломъ виденъ предметъ вышиною въ 1 дюймъ на разстояніи около 2 арш. Диски солнца и луны представляются намъ подъ угломъ зрѣнія около $^1/_2$°.

Приспособленіе глаза къ разстоянію (аккомодація).

352. Фотографическая камера не могла бы давать одинаково отчетливыхъ изображеній близкихъ и отдаленныхъ предметовъ, еслибы разстояніе матоваго стекла отъ объектива оставалось одно и то же. Приходится измѣнять установку соотвѣтственно дальности предмета—такъ сказать, приспособляться къ разстоянію. Приспособленіе къ разстоянію конечно должно быть свойственно и глазу. Но въ глазу оно происходитъ помимо нашей воли, благодаря нѣкоторымъ привычнымъ движеніямъ (мышечнымъ сокращеніямъ) внутри глаза; кромѣ того приспособленіе или аккомодація глаза — явленіе

болѣе сложное. Мы разсмотримъ только главное измѣненіе, происходящее въ глазу при аккомодаціи, — измѣненіе кривизны хрусталика.

Хорошій, зоркій глазъ ясно видитъ предметы и очень отдаленные (звѣзды), и близкіе, напр. буквы обыкновенной печати при чтеніи, на разстояніи 25 — 30 см. (около фута). Когда такой глазъ смотритъ вдаль, изображеніе видимыхъ имъ предметовъ получается на сѣтчаткѣ безъ всякихъ мышечныхъ напряженій въ глазу (глазъ находится въ состояніи отдыха). Положимъ, что фотографическая камера была бы установлена на далекій предметъ. По мѣрѣ приближенія предмета, его изображеніе отодвигалось бы отъ объектива, и пришлось бы соотвѣтственно удалять отъ него матовое стекло, чтобы очертанія изображенія остались отчетливыми. Въ глазу отодвиганіе изображенія за сѣтчатку предотвращается главнымъ образомъ тѣмъ, что хрусталикъ съ приближеніемъ предмета становится выпуклѣе (т. е. кривизна его увеличивается) и слѣдов. собирательное дѣйствіе его усиливается.

Каждому однако хорошо извѣстно, что нельзя ясно видѣть предметъ, если онъ придвинутъ къ глазу слишкомъ близко. Это зависитъ отъ того, что приспособленіе глаза имѣетъ извѣстный предѣлъ: когда предметъ находится ближе нѣкоторой границы, тогда наибольшая кривизна хрусталика, какой онъ можетъ достигнуть, уже недостаточна, чтобы лучи собрались на сѣтчаткѣ.

Близорукость и дальнозоркость; очки.

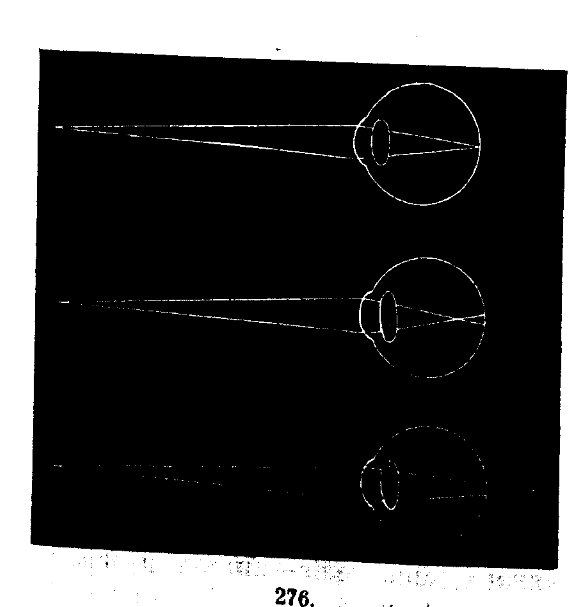
353*. Извѣстно также, какъ сильно отличаются глаза разныхъ людей въ отношеніи способности видѣть отдаленные и близкіе предметы. Нѣкоторыя чаще встрѣчающіяся различія въ зрѣніи легко объясняются избыточнымъ или недостаточнымъ преломленіемъ лучей въ глазу и неодинаковой способностью приспособляться къ разстоянію.

Если дѣло касается только разстояній, на которыхъ возможно ясное зрѣніе, то хорошимъ или нормальнымъ (какъ бы образцовымъ) глазомъ можно считать такой, который 1) ясно—и безъ всякаго напряженія—видитъ предметы сколь угодно далекіе (звѣзды), 2) безъ замѣтнаго усилія

приспособляется къ разстоянію около 25—30 сантим. (10—12 дюйм.), напр. при чтеніи обыкновеннаго печатнаго шрифта.

Близорукость есть слѣдствіе избыточнаго противъ нормы преломленія въ глазу. Изображеніе удаленнаго предмета получается передъ сѣтчаткой, отчего глазъ и не можетъ видѣть вдаль; чтобы изображеніе упало на сѣтчатку, необходимо значительное приближеніе предмета къ глазу; наименьшее разстояніе, къ которому глазъ приспособляется безъ усилія, напр. при чтеніи, меньше того, какое свойственно „нормальному" глазу.

Противоположное этому уклоненіе отъ нормы состоитъ въ недостаточномъ преломленіи: лучи отдаленнаго предмета сходятся (сошлись бы безъ аккомодаціи) позади сѣтчатки. Къ далекимъ предметамъ глазъ однако легко приспособляется: они хорошо видны безъ замѣтнаго напряженія. Но наименьшее разстояніе, къ которому глазъ легко можетъ приспособляться при разсматриваніи близкихъ предметовъ (напр. при чтеніи), больше того, какое свойственно хорошему глазу. Этотъ недостатокъ глаза называется дальнозоркостью — выраженіе не совсѣмъ подходящее, потому что легко даетъ поводъ смѣшивать дальнозоркость, какъ недостатокъ, со способностью „зоркаго" глаза хорошо видѣть вдаль.


276.

На рис. 276 схематически изображено для „нормальнаго", близорукаго и „дальнозоркаго" глаза схожденіе свѣтового пучка отъ точки, находящейся отъ глаза въ 25—30 сантиметрахъ.

Способность приспособляться къ разстояніямъ, связанная съ нѣкоторыми мышечными сокращеніями въ глазу, уменьшается съ приближеніемъ старческаго возраста: тогда хрусталикъ уже не можетъ дѣлаться столь выпуклымъ, какъ въ молодости. Глазъ, легко приспособлявшійся, положимъ, къ 10-дюймовому разстоянію, начинаетъ плохо видѣть на этомъ разстояніи: необходимо отодвинуть предметъ (страницу книги и т. п.) дальше, чтобы онъ былъ отчетливо виденъ. Эта такъ называемая старческая дальнозоркость часто сопровождается и общимъ ослабленіемъ зрѣнія, такъ что глазъ начинаетъ хуже видѣть и отдаленные предметы.

354. Изъ сказаннаго само собою вытекаетъ та роль, какую играютъ очки.

1) Избыточному преломленію близорукаго глаза можно противодѣйствовать разсѣивающимъ, т. е. вогнутымъ стекломъ. Кривизну стекла (тотъ или иной „нумеръ" очковъ) конечно сообразуютъ со степенью близорукости и съ тѣмъ или инымъ назначеніемъ очковъ. Очки, назначаемые для чтенія, должны безъ замѣтнаго усилія въ глазу приводить на сѣтчатку изображеніе шрифта, когда послѣдній находится въ удобномъ для чтенія разстояніи (около 1 фута). Очки для смотрѣнія вдаль должны дѣлать то же съ изображеніемъ далекихъ предметовъ.

2) Недостаточность преломленія дальнозоркаго глаза возмѣщается собирательнымъ, т. е. выпуклымъ стекломъ. Въ случаѣ старческой дальнозоркости очки съ собирательными стеклами подправляютъ ослабленную способность глаза приспособляться къ тому разстоянію, на которомъ легко разбирать обыкновенную печать. При этомъ нужно, чтобы глазъ съ очками безъ замѣтнаго усилія собиралъ на сѣтчаткѣ лучи отъ предмета, находящагося въ разстояніи около фута.

Роль очковъ хорошо уясняется съ помощью описанной выше модели фотографической камеры (§ 325), представляющей вмѣстѣ съ тѣмъ и упрощенную модель оптическаго аппарата нашего глаза. 1) Получивъ на матовомъ стеклѣ ясное изображеніе какого либо предмета (оконной рамы, пламени свѣчи), отодвинемъ стекло, чтобы изображеніе стало расплывчатымъ: случай, соотвѣтствующій близорукости, при которой лучи собираются передъ сѣтчаткой. Приставляя затѣмъ къ объективу разсѣивающее стекло подходящей кривизны, можно снова получить на матовомъ стеклѣ отчетли-

вое изображеніе. 2) Теперь, напротивъ, *придвинемъ* матовое стекло къ объективу ближе того разстоянія, на которомъ получается отчетливое изображеніе: послѣднее опять станетъ расплывчатымъ, и отчетливость его можно будетъ востановить посредствомъ надлежащимъ образомъ подобраннаго собирательнаго стекла.

355. Надо еще замѣтить, что не всѣ части изображенія, получаемаго на сѣтчаткѣ, дѣйствуютъ на нее одинаковымъ образомъ. *Наибольшею чувствительностью* сѣтчатка обладаетъ по близости отъ мѣста входа въ глазъ зрительнаго нерва, считая въ сторону виска (самое же мѣсто входа нерва отличается полною нечувствительностью къ свѣту). Эта часть сѣтчатки, называемая „центральной ямкою", очень мала: на ней приблизительно умѣщается изображеніе ногтя указательнаго пальца, если смотрѣть на него при вытянутой рукѣ (что соотвѣтствуетъ углу зрѣнія около 1°). Прямая, проведенная чрезъ узловую точку глаза (см. § 350) къ центральной ямкѣ, называется *линіей зрѣнія* (она не совсѣмъ совпадаетъ съ оптической осью глаза). Когда мы хотимъ разсмотрѣть *подробности* предмета, мы наводимъ на требуемое мѣсто линію зрѣнія, поворачивая голову или глазное яблоко. Такимъ образомъ, хотя глазъ въ общемъ можетъ обозрѣвать большое пространство (имѣетъ большое „поле зрѣнія"), мы *ясно* видимъ только то, что рисуется въ центральной ямкѣ. Большой предметъ мы въ дѣйствительности обозрѣваемъ *не сразу*, какъ намъ кажется, а по частямъ: чрезвычайная подвижность глаза и его быстрая аккомодація даютъ намъ возможность почти мгновенно „наводить" его послѣдовательно на разныя точки предмета.

Зрѣніе, какъ психическій актъ составленія картины внѣшняго міра.

356. Изъ вышеизложеннаго видно, при какихъ условіяхъ возможно зрѣніе и отчего зависитъ бо́льшая или меньшая его отчетливость. Но для пониманія самаго *акта зрѣнія* необходимо остановиться на участіи въ немъ нашей психической или духовной дѣятельности.

Впечатлѣнія, доставляемыя глазнымъ нервомъ, служатъ матерьяломъ для дѣятельности нашего духа, производящей то, что мы *видимъ* внѣ насъ находящіеся предметы. То обстоятельство, что различныя точки даютъ изображенія на разныхъ точ-

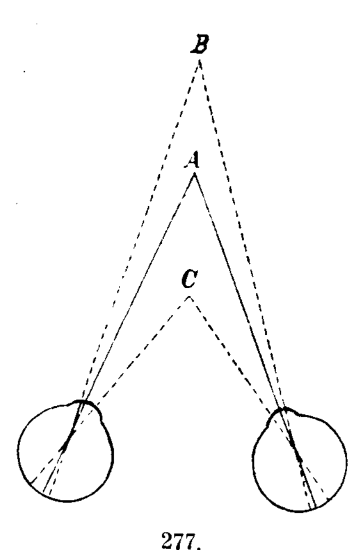
§ 356 почти весь взятъ изъ Популярной физики Любимова 2е изд

кахъ сѣтчатки, обусловливаетъ возможность различенія одной точки отъ другой. Сознаніе, что эти точки находятся внѣ насъ и расположены въ разныхъ направленіяхъ и на разныхъ разстояніяхъ, достигается совокупностью указаній зрѣнія съ указаніями другихъ чувствъ. *Увидать* предметъ значитъ путемъ безсознательнаго соображенія опредѣлить его мѣсто въ общемъ расположеніи предметовъ. *Мы научаемся видѣть постепенно*, путемъ долгаго упражненія въ младенчествѣ, повѣряя показанія зрѣнія показаніями другихъ чувствъ, въ особенности осязанія. Въ прежнее время было много попытокъ объяснить, почему предметы не кажутся намъ опрокинутыми, хотя они таковыми рисуются на сѣтчаткѣ. Ошибочность сужденій объ этомъ предметѣ проистекала отчасти изъ ложнаго представленія, что актъ зрѣнія есть какъ бы наблюденіе рисующейся на сѣтчаткѣ картинки, подобное разсматриванію вообще какого-нибудь рисунка. На самомъ же дѣлѣ мы не разсматриваемъ картинки, рисующейся на сѣтчаткѣ (мы даже не подозрѣваемъ о ея существованіи), а на основаніи впечатлѣній, испытываемыхъ сѣтчаткою, и руководствуясь пріобрѣтеннымъ опытомъ, составляемъ себѣ представленіе о томъ, гдѣ находятся въ пространствѣ точки, лучи которыхъ дѣйствуютъ на разныя мѣста сѣтчатки. Опытъ научилъ насъ, что когда мы хотимъ найти внѣ насъ предметъ, производящій впечатлѣніе на *нижнюю* часть сѣтчатки, мы должны протянуть руку *кверху*, и наоборотъ — направить ее внизъ, чтобы найти предметъ, дѣйствующій на верхнюю часть сѣтчатки. Сюда еще присоединяется ощущеніе въ движущихъ глазъ мышцахъ: чтобы посмотрѣть на точку внизу, мы дѣлаемъ мышцами глаза усиліе, поворачивающее его сверху внизъ. Поэтому мы не ошибаемся относительно истиннаго расположенія предметовъ. Если снабдить нашъ глазъ снарядомъ, который представлялъ бы предметы опрокинутыми, то чрезъ нѣкоторое время, привыкнувъ, мы опять стали бы правильно судить о расположеніи предметовъ.

357. *Зрѣніе двумя глазами.* Каждую точку изображенія на сѣтчаткѣ мы относимъ во внѣшній міръ по направленію линіи зрѣнія, которая соотвѣтствуетъ этой точкѣ. Такимъ образомъ получается представленіе о „полѣ зрѣнія", какъ о нѣкоторой внѣ насъ лежащей поверхности, разныя части которой отмѣчены извѣстною яркостью и цвѣтомъ. Представленіе о *глубинѣ* различныхъ частей этого поля, т. е. о разстояніи отъ насъ разныхъ предметовъ и ихъ частей, достигается главнымъ образомъ благодаря зрѣнію обоими глазами.

То обстоятельство, что ощущенія, доставляемыя двумя глазами, соединяются нами въ *одно* представленіе, и мы не видимъ предмета двойнымъ, объясняется тоже психическою дѣятельностью. Но для этого необходимо, чтобы изображенія предмета на сѣтчаткахъ обоихъ глазъ получались въ нѣкоторыхъ „соотвѣтственныхъ" другъ другу мѣстахъ. Точка *A* (рис. 277), на которую наведены линіи зрѣнія обоихъ глазъ, представляется намъ

одиночной. Въ то же время нѣкоторыя другія точки, напр. B или C, будутъ казаться раздвоенными. Обыкновенно мы не замѣчаемъ такого раздвоенія. Но при нѣкоторомъ вниманіи легко убѣдиться, что оно существуетъ. Если будемъ держать передъ глазами палецъ, устремляя въ то же время глаза вдаль, то увидимъ палецъ вдвойнѣ. Напротивъ, если навести глаза на близкій предметъ, то болѣе отдаленные покажутся раздвоившимися. Еще рѣзче наблюдается явленіе, если надавливаніемъ руки смѣстить одно глазное яблоко—вывести глазъ изъ его привычнаго положенія: тогда всѣ предметы, близкіе и отдаленные, кажутся двойными.



277.

358. Зрѣніе двумя глазами даетъ намъ главное средство судить о разстояніи не очень удаленныхъ отъ насъ предметовъ. 1) Чтобы ясно видѣть точку, мы наводимъ на нее оптическія оси (или собственно линіи зрѣнія) обоихъ глазъ, дѣлая тѣмъ большій поворотъ глазныхъ яблокъ, т. е. тѣмъ большее усиліе, чѣмъ точка ближе. Ощущеніе этого усилія, въ связи съ привычкой, главнымъ образомъ и даетъ намъ мѣрку для сужденія о разстояніи отъ насъ точки, на которую наведены глаза. 2) Такъ какъ оба глаза находятся въ разныхъ мѣстахъ, то изображенія предметовъ на сѣтчаткахъ не вполнѣ одинаковы. Легко въ самомъ дѣлѣ убѣдиться, что какъ относительное расположеніе, такъ и видъ отдѣльныхъ предметовъ представляются различными, если смотрѣть на нихъ поперемѣнно то правымъ глазомъ, то лѣвымъ. Напр., если помѣстить одинъ за другимъ два пальца противъ праваго глаза—при закрытомъ лѣвомъ—такъ, чтобы одинъ палецъ покрывалъ собою другой, то они разойдутся, если смотрѣть на нихъ лѣвымъ глазомъ (закрывъ правый). Палецъ, помѣщенный передъ глазами, кажется пролагающимся на разныя мѣста стѣны, смотря по тому, который изъ двухъ глазъ открытъ; если поперемѣнно смотрѣть то правымъ глазомъ, то лѣвымъ, то кажется, будто палецъ перемѣщается изъ стороны въ сторону. Смотря на предметъ однимъ глазомъ, мы увидимъ такія его части, которыя могутъ быть невидимы для другого. (Держать книгу ребромъ вдоль средины лица—противъ носа—и закрывать то одинъ глазъ, то другой).
Если будемъ смотрѣть на окружающіе предметы однимъ глазомъ, то можемъ очень затрудниться въ оцѣнкѣ ихъ относительныхъ разстояній отъ насъ, ихъ „перспективнаго“

расположенія. Впечатлѣніе „глубины“ значительно ослабляется, когда одинъ глазъ закрытъ. (Если оно частью остается, то вслѣдствіе предварительнаго знанія обстановки, и оттого, что большая подвижность глаза до нѣкоторой степени возмѣщаетъ одновременное зрѣніе обоими глазами). Сужденіе о разстояніяхъ по направленію линіи зрѣнія становится совершенно невозможнымъ, если напр. смотрѣть однимъ глазомъ чрезъ свернутую изъ бумаги трубку: конецъ карандаша, который держатъ передъ трубкой, кажется касающимся къ гораздо болѣе удаленнымъ предметамъ. — Закрывъ одинъ глазъ, возьмемъ въ лѣвую руку иголку такъ, чтобы отверстіе ея ушка приходилось бокомъ (не было бы видно), и попробуемъ вдѣть въ ушко нитку: едва ли это намъ скоро удастся. (Конечно не слѣдуетъ подсоблять себѣ предварительной установкой рукъ и не касаться одной руки другою). Очень любопытное видоизмѣненіе того же опыта слѣдующее. Подвѣшиваютъ на нити занавѣсочное кольцо въ разстояніи около аршина отъ себя и, смотря на него однимъ глазомъ такъ, чтобы просвѣтъ кольца не былъ видѣнъ, стараются просунуть въ него карандашъ: попасть оказывается довольно трудно, между тѣмъ какъ это легко удается, когда оба глаза открыты. (Чтобы кольцо не вертѣлось, его подвѣшиваютъ на двойной нити; карандашъ лучше держать не прямо рукою, а привязать поперечно къ концу палки).

Извѣстно, что въ случаѣ картины впечатлѣніе глубины или перспективы обыкновенно бываетъ полнѣе, если смотрѣть на нее однимъ глазомъ; это происходитъ главнымъ образомъ отъ того, что относительное расположеніе предметовъ, изображенныхъ на картинѣ, соотвѣтствуетъ только одной точкѣ зрѣнія. Въ самомъ дѣлѣ, стоитъ лишь качнуть головою въ сторону, когда впечатлѣніе глубины уже получилось, и оно тотчасъ исчезнетъ: мы увидимъ передъ собою плоское полотно [1].

359*. Наоборотъ, если сдѣлать два рисунка одного и того же предмета—одинъ такъ, какъ предметъ виденъ правому глазу, а другой, какъ онъ виденъ лѣвому, то можно увидѣть рисунокъ выпуклымъ, рельефнымъ, если впечатлѣнія рисунковъ въ обоихъ глазахъ сольются въ одно. Таковы напр. фигуры, попарно изображенныя на рис. 278. Смотря на каждую пару, удается своденіемъ глазъ при нѣкоторомъ усиліи слить обѣ фигуры: тогда онѣ представляются рельефными, какъ бы тѣлесными. (Чтобы это удалось, надо пробовать смотрѣть на рисунокъ съ разныхъ разстояній, и лучше отдѣлить лѣвыя фигуры отъ правыхъ вертикальной перегородкой).

[1] Мгновенное исчезновеніе перспективной иллюзіи при движеніи въ стороны особенно поразительно въ такъ называемыхъ панорамахъ, въ которыхъ стоящіе по близости дѣйствительные предметы незамѣтно переходятъ въ картину, нарисованную на полотнѣ. (Перспектива также сразу исчезаетъ, если быстро сдѣлать шагъ впередъ или назадъ).

Гораздо совершенѣе то же достигается съ помощью прибора, называемаго стереоскопомъ. Въ немъ два рисунка, напр. два фотографическихъ снимка, сдѣланные какъ указано выше, разсматриваются чрезъ двѣ надлежащимъ образомъ помѣщенныя призмы (или получечевицы): изображенія рисунковъ смѣщаются къ срединѣ прибора такъ, что кажутся слившимися въ одинъ. Хорошіе приборы при надлежащей установкѣ даютъ поразительное впечатлѣніе глубины.

278.

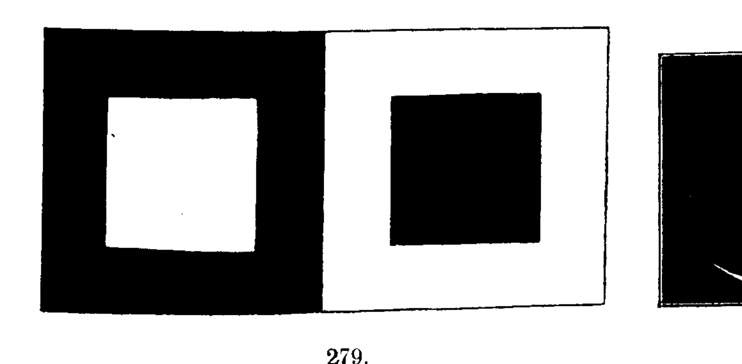
Объ оптическихъ обманахъ.

360. Какъ уже было сказано выше, зрѣніе есть сложный психическій актъ, которымъ мы составляемъ себѣ картину внѣшняго міра на основаніи раздраженія сѣтчатки лучами и руководствуясь указаніями другихъ чувствъ, главнымъ образомъ осязанія. Когда зрѣніе и указанія другихъ нашихъ чувствъ даютъ намъ согласное во всѣхъ частностяхъ представленіе о предметѣ, мы считаемъ его „существующимъ въ дѣйствительности“. Но во многихъ случаяхъ представленіе о предметѣ, доставляемое глазомъ, не сходится съ тѣмъ, какое мы получаемъ чрезъ посредство другихъ органовъ чувствъ, въ особенности осязанія: тогда мы говоримъ объ „ошибкахъ зрѣнія“ или „оптическихъ обманахъ“. Причины оптическихъ обмановъ бываютъ очень разнообразны: онѣ могутъ лежать и внѣ насъ, и въ физическомъ устройствѣ глаза; онѣ могутъ заключаться также въ ошибкахъ нашего сужденія. Не вдаваясь въ подробности этой въ высшей степени интересной области, въ которой физика тѣсно соприкасается съ ученіемъ о нашей духовной дѣятельности (психологіей), ограничимся тѣмъ, что напомнимъ нѣкоторые примѣры, встрѣчавшіеся выше, и дополнимъ ихъ нѣсколькими новыми.

Когда лучи предмета на своемъ пути къ нашему глазу измѣняютъ свое первоначальное направленіе вслѣдствіе неоднородности среды, т. е. отражаются или преломляются, они производятъ на глазъ такое впечатлѣніе, какъ будто бы шли отъ предмета, находящагося не тамъ, гдѣ мы находимъ его, сообразуясь съ осязаніемъ. Каждая точка предмета представляется глазу въ вершинѣ той части свѣтового пучка, которая непосредственно попадаетъ въ глазъ,—потому что именно этою частью пучка опредѣляется мѣсто изображенія на сѣтчаткѣ. Такимъ образомъ происходятъ всѣ тѣ изображенія, которыя доставляются зеркалами, призмами, оптическими стеклами; сюда же относятся болѣе сложныя явленія атмосфернаго преломленія и миража. Все это — ошибки нашего зрительнаго сужденія. Если бы мы были окружены средою, въ которой происходили бы частыя и значительныя нарушенія однородности, то постоянные и повсемѣстные оптическіе обманы ослабили бы наше довѣріе къ зрѣнію и вынудили бы насъ прибѣгать къ его провѣркѣ гораздо чаще, чѣмъ это намъ нужно въ дѣйствительныхъ условіяхъ нашего существованія.

361. Изъ числа оптическихъ обмановъ, причина которыхъ лежитъ въ глазу, приведемъ слѣдующіе.

Лучи свѣтящейся точки сходятся на сѣтчаткѣ глаза собственно не въ одной точкѣ, а образуютъ маленькій свѣтовой кружокъ; въ этомъ отношеніи въ глазу повторяется то, что свойственно и оптическимъ стекламъ. Поэтому края свѣтлой поверхности, граничащей съ темною, кажутся распространяющимися немного за свои дѣйствительныя очертанія. На рис. 279 изображены два одинаковой величины квадрата: бѣлый на черномъ фонѣ и черный на бѣломъ. Изображеніе перваго на сѣтчаткѣ глаза будетъ нѣсколько больше, чѣмъ бы слѣдовало соотвѣтственно чисто геометрическимъ очертаніямъ; напротивъ, границы бѣлаго поля (правый рисунокъ) отодвигаются на сѣтчаткѣ немного внутрь темнаго пространства. Бѣлый квадратъ кажется больше чернаго. (Слѣдуетъ смотрѣть на рисунокъ, хорошо освѣтивъ его, съ разстоянія нѣсколькихъ шаговъ). Разительный примѣръ такой иррадіаціи нерѣдко можно наблюдать на небѣ. Около времени новолунія, когда луна является въ видѣ узкаго серпа, затѣненная часть луны слабо свѣтится такъ называемымъ „пепельнымъ свѣтомъ“, вслѣдствіе освѣщенія ея солнечными лучами, отраженными отъ земли; яркій лунный серпъ кажется тогда замѣтно



279.

280.

бо́льшаго діаметра, чѣмъ остальная часть луннаго диска: серпъ представляется какъ бы насаженнымъ на нее. (Рис. 280 далеко не передаетъ эффекта явленія, вслѣдствіе недостаточной разницы въ яркости обѣихъ частей).

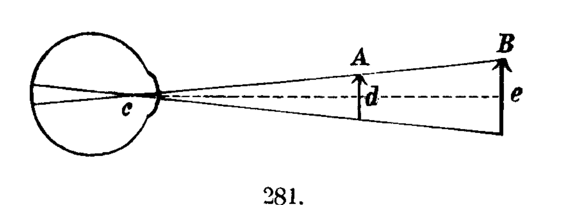
362. Всякое раздраженіе сѣтчатой оболочки глаза свѣтовыми лучами исчезаетъ не мгновенно, а длится приблизительно 1/10 секунды послѣ того, какъ причина его исчезла. Поэтому движущійся предметъ съ просвѣтами можетъ показаться намъ сплошнымъ (быстро вращающееся колесо со спицами или зубцами); если быстро движется свѣтящій предметъ, то мы видимъ вмѣсто него лишь свѣтлый слѣдъ его пути (быстро перемѣщающійся по стѣнѣ „зайчикъ" отъ лучей, отраженныхъ зеркаломъ; искры, вылетающія изъ паровозной трубы на ходу поѣзда; такъ называемыя „падающія звѣзды" и пр.). На этомъ именно свойствѣ нашего глаза основывается устройство приборовъ, показывающихъ намъ нарисованныя фигуры какъ бы движущимися. Все дѣло въ томъ, что передъ глазомъ появляется, въ быстрой смѣнѣ, рядъ изображеній, соотвѣтствующихъ послѣдовательнымъ позамъ или положеніямъ движущихся предметовъ. (Стробоскопъ; кинематографъ или „живая фотографія").

363. Вотъ нѣсколько примѣровъ цвѣтовыхъ обмановъ, связанныхъ со свойствами нашего глаза. Если долго смотрѣть на ярко окрашенный и сильно освѣщенный предметъ, а затѣмъ перевести глаза на бѣлую поверхность, то увидимъ на ней цвѣтное пятно. Если предметъ былъ синій, то пятно будетъ желтое, если красный, то зеленоватое. Явленія этого рода объясняются тѣмъ, что продолжительное смотрѣніе на ярко окрашенный предметъ производитъ въ глазу усталость, притупляя воспріимчивость сѣтчатки къ тѣмъ лучамъ, которые долго на нее дѣйствовали. Когда затѣмъ глазъ подвергается дѣйствію бѣлаго свѣта, то изъ составныхъ его частей слабѣе воспринимаются тѣ, къ которымъ сѣтчатка притуплена; остатокъ произведетъ слѣдовательно впечатлѣніе дополнительнаго цвѣта (см. § 332). Основываясь на этомъ, подборъ цвѣтовъ (цвѣтныхъ матерій, красокъ картины) можно сдѣлать такимъ, что яркость одного цвѣта будетъ усиливаться присутствіемъ сосѣдняго (дополнительнаго)— или наоборотъ [1].

364. Наконецъ на ошибочномъ сужденіи основывается цѣлый рядъ оптическихъ обмановъ, связанныхъ съ оцѣнкою на-глазъ разстоянія и величины предметовъ. Нѣкоторые любопытные примѣры были приведены еще въ I главѣ (см. рис.

[1] Если посмотрѣть на освѣщенныя солнцемъ блестящія металлическія буквы, то вслѣдствіе притупленія сѣтчатки въ тѣхъ мѣстахъ, куда падаютъ изображенія буквъ, темные силуэты ихъ долго послѣ того носятся передъ глазами. Нѣчто подобное можно также замѣтить, посмотрѣвъ пристально на ярко-свѣтящую нить калильной электрической лампочки.

2 и 3; число рисунковъ этого рода легко было бы значительно умножить). Очень обыкновенны ошибки въ опредѣленіи величины предметовъ, связанныя съ ошибочной оцѣнкой ихъ разстоянія отъ насъ. Если мы видимъ два предмета A и B (рис. 281) подъ однимъ и тѣмъ же угломъ зрѣнія, то изображенія ихъ на сѣтчаткѣ будутъ одинаковой величины, и если мы не имѣемъ возможности оцѣнить разстоянія предметовъ отъ насъ, мы ничего не можемъ заключить объ ихъ дѣйствительной величинѣ: они покажутся намъ равными. Таковы напр. солнце и луна. Поперечникъ солнца приблизительно въ 400 разъ больше, чѣмъ луны, и примѣрно во столько же разъ солнце отъ насъ дальше, такъ что оба тѣла представляются намъ подъ однимъ и тѣмъ же угломъ зрѣнія (около $1/2^0$); разстоянія же ихъ отъ земли мы на-глазъ оцѣнить не можемъ: оно кажется намъ одинаковымъ.—При извѣстныхъ обстоятельствахъ болѣе близкій предметъ A можетъ представиться намъ на бо́льшемъ разстояніи ce (см. рис.): тогда самый предметъ покажется намъ больше—именно такихъ размѣровъ, какъ другой (B), видимый нами на разстояніи ce подъ тѣмъ же угломъ зрѣнія, какъ A на меньшемъ разстояніи cd. Напр. ползущая по оконному стеклу муха можетъ представиться намъ съ большую птицу, если она—по условіямъ освѣщенія и др.—почудится намъ на стѣнѣ противоположнаго дома. Близко стоящій вертикальный шестъ мы при подобныхъ обстоятельствахъ можемъ принять за отдаленную фабричную трубу и т. п. Возможно конечно ошибочное заключеніе и въ обратномъ смыслѣ.



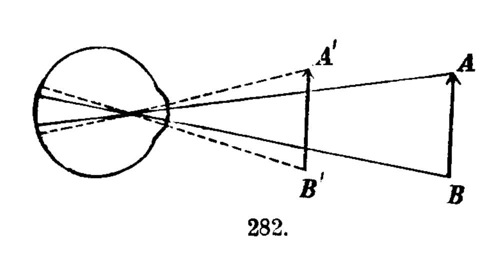
281.

Надо замѣтить, что несознаваемое нами сужденіе, т. е. чисто духовный элементъ, какъ важная составная часть акта зрѣнія вообще, играетъ существенную роль во множествѣ оптическихъ обмановъ.

Зрѣніе при посредствѣ оптическихъ приборовъ (зрѣніе вооруженнымъ глазомъ).

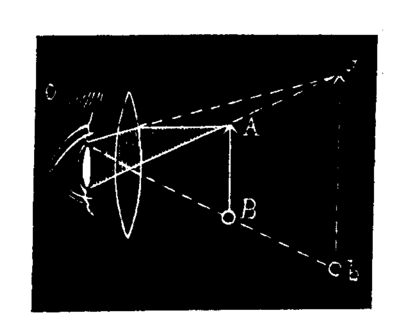
365. Для разсматриванія подробностей очень мелкихъ или очень удаленныхъ предметовъ, какъ извѣстно, снабжаютъ или „вооружаютъ" глазъ нѣкоторыми оптическими приспособленіями, каковы увеличительныя стекла, микроскопы и зрительныя трубы. Одни приборы какъ бы „увеличиваютъ", другія какъ бы „приближаютъ" предметы. Чтобы понять ихъ настоящую роль, разсмотримъ сперва, отъ чего зависитъ

подробность зрѣнія. Опытъ показываетъ, что если изображенія двухъ точекъ ложатся на сѣтчатку слишкомъ близко другъ отъ друга, то впечатлѣнія отъ нихъ сливаются въ одно, и точки не видны раздѣльно. Поэтому, чѣмъ больше раздвинуты изображенія очертаній предмета, тѣмъ больше подробностей между ними можно будетъ различить. Изъ рис. 282 ясно, что мы достигаемъ этого увеличеніемъ угла зрѣнія, когда — по привычкѣ — приближаемъ предметъ AB въ положеніе $A'B'$ для разсматриванія его подробностей; при этомъ увеличивается изображеніе предмета на сѣтчаткѣ. Но придвиганіе предмета къ глазу ближе извѣстной границы безполезно, потому что, вслѣдствіе неспособности глаза приспособляться къ слишкомъ малымъ разстояніямъ, изображеніе на сѣтчаткѣ становится расплывчатымъ, а слѣдовательно зрѣніе неяснымъ; кромѣ того о приближеніи не можетъ быть рѣчи, когда самая задача состоитъ въ разсматриваніи подробностей отдаленнаго предмета. Главное значеніе оптическихъ приборовъ, о которыхъ здѣсь будетъ сказано, и состоитъ въ томъ, чтобы увеличить уголъ зрѣнія, сохранивъ отчетливость изображенія на сѣтчаткѣ.



282.

366*. Обыкновенное увеличительное стекло или лупа есть стекло собирательное (двояко-выпуклое). Приставляя его къ глазу, достигаютъ того, что лучи отъ предмета сходятся на сѣтчаткѣ, когда самый предметъ поднесенъ гораздо ближе того разстоянія, къ которому глазъ еще можетъ приспособиться: безъ стекла изображеніе предмета было бы уже расплывчатымъ. Желая возможно лучше использовать лупу, приставляютъ ее какъ можно ближе къ глазу и измѣняютъ разстояніе предмета до тѣхъ поръ, пока онъ не будетъ виденъ съ наибольшею отчетливостью: тогда лучи собираются какъ разъ на сѣтчаткѣ. Если теперь отнять лупу, не измѣняя разстоянія глаза отъ предмета, то кажущаяся величина послѣдняго останется та же, но очертанія станутъ неясными.—Такъ какъ ходъ лучей измѣненъ стекломъ, то мы конечно видимъ не самый предметъ, а его мнимое изображеніе: лучи теперь входятъ въ глазъ O такъ, какъ будто бы шли отъ предмета ab, находящагося отъ глаза на ближайшемъ разстояніи яснаго зрѣнія, т. е. въ 25—30 сантиметрахъ для нормальнаго глаза (рис. 283). Припомнимъ, что при этомъ предметъ AB долженъ находиться отъ стекла не дальше главнаго фокуса (§§ 324 и 325): въ противномъ случаѣ лучи, пройдя чрезъ стекло, будутъ сходящимися и соберутся передъ сѣтчаткой.



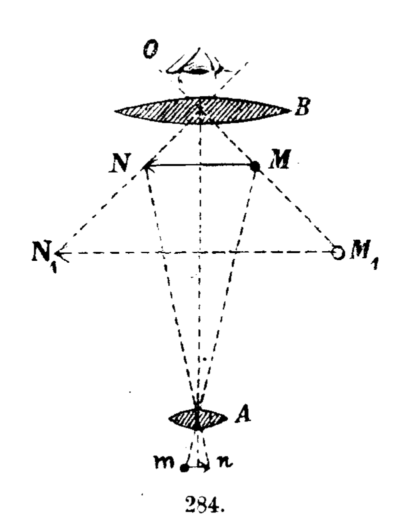
283.

Итакъ, разсматривая предметъ въ лупу, мы достигаемъ того, что его изображеніе на сѣтчаткѣ, оставаясь отчетливымъ, дѣлается больше, т. е. охватываетъ собою бо́льшее число нервныхъ окончаній, что и даетъ намъ возможность различать въ немъ больше подробностей.

Мѣрою такъ называемаго увеличенія лупы служитъ отношеніе угла зрѣнія при разсматриваніи предмета въ лупу (какъ указано выше) къ тому, подъ которымъ онъ виденъ невооруженному глазу на наименьшемъ разстояніи яснаго зрѣнія. Если углы малы, то это отношеніе именно равняется отношенію величинъ изображенія предмета на сѣтчаткѣ при разсматриваніи его въ лупу и невооруженнымъ глазомъ.

Чѣмъ меньше фокусное разстояніе лупы, чѣмъ слѣдовательно она сильнѣе собираетъ лучи, тѣмъ ближе можно придвинуть предметъ къ глазу, — тѣмъ сильнѣе „увеличеніе“.

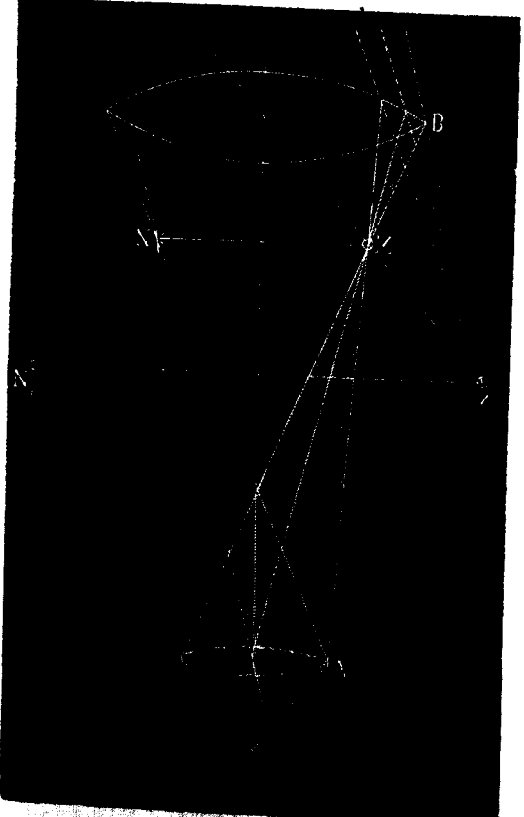
367. Гораздо больше подробностей можно разсмотрѣть съ помощью „сложнаго“ микроскопа („простымъ“ микроскопомъ часто называютъ лупу). Этотъ приборъ состоитъ по



284.

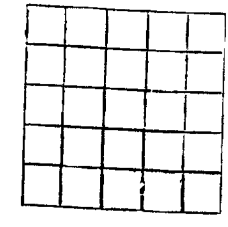
меньшей мѣрѣ изъ двухъ собирательныхъ стеколъ: предметнаго стекла или объектива *A* (рис. 284), обращеннаго къ разсматриваемому предмету, и глазного стекла или окуляра *B*, обращеннаго къ глазу. Предметъ *mn* по отношенію къ объективу помѣщается такъ (именно между главнымъ фокусомъ и двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ, см. § 324), чтобы по другую сторону стекла получилось дѣйствительное увеличенное его изображеніе *MN* (какъ въ проекціонномъ фонарѣ); послѣднее затѣмъ разсматривается чрезъ окуляръ, играющій роль лупы, такъ что глазъ *O* видитъ мнимое увеличенное изображеніе M_1N_1.

Ходъ лучей представленъ на рис. 285; изъ него видно, что отъ изображенія *MN* падаютъ на окуляръ *B* неполные свѣтовые пучки (на рис. они показаны только для точекъ *M*, *N*), которые послѣ преломленія даютъ мнимые фокусы (M_1 и N_1) въ тѣхъ самыхъ точкахъ, какъ если бы *MN* былъ дѣйствительный предметъ, разсматриваемый въ окуляръ, какъ въ лупу.



285.

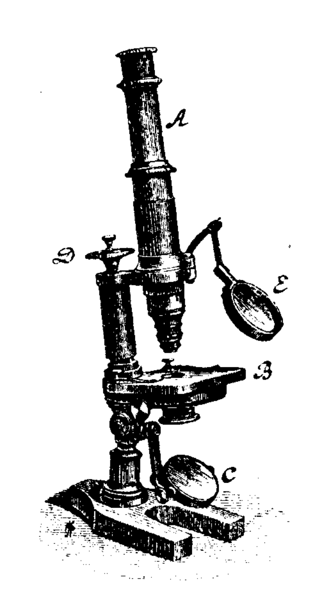
Если говорятъ, что микроскопъ увеличиваетъ въ 300 разъ, то это значитъ, что какая-нибудь маленькая длина при разсматриваніи въ микроскопъ представляется подъ угломъ зрѣнія въ 300 разъ бо́льшемъ, чѣмъ простому глазу на опредѣленномъ разстояніи; послѣднее для однообразія обыкновенно принимаютъ=25 см. Во избѣжаніе недоразумѣній необходимо отличать линейное увеличеніе отъ



286.

плоскостного. Если сторона квадрата кажется увеличенной въ 5 разъ, то площадь квадрата представится увеличенною въ 25 разъ (рис. 286). Если линейное увеличеніе микроскопа 100, то плоскостное будетъ 100×100, т. е. 10000. Линейное увеличеніе въ 300 разъ будетъ соотвѣтствовать плоскостному въ 90000 разъ. И т. д. Когда не сдѣлано оговорки, подъ „увеличеніемъ" обыкновенно подразумѣвается линейное. Увеличеніе въ нѣсколько сотъ разъ легко достигается обыкновенными микроскопами. При научныхъ изслѣдованіяхъ часто пользуются увеличеніями въ тысячу и болѣе разъ.

Объективъ и окуляръ микроскопа вставляются въ одну общую трубку *A*, а предметъ помѣщается на столикѣ *B* (рис. 287) съ отверстіемъ, сквозь которое его надлежащимъ образомъ освѣщаютъ зеркальцемъ *C*. Передвиженіемъ трубки (и винта *D*) измѣняютъ разстояніе объектива до предмета, пока не получится отчетливаго изображенія. Такъ какъ послѣднее достигается тогда, когда лучи собираются на сѣтчаткѣ, то „установка" микроскопа на ясное изображеніе конечно связана со свойствами глаза: она будетъ неодинакова для нормальнаго глаза, для близорукаго и дальнозоркаго. Для освѣщенія мало-прозрачныхъ предметовъ сверху служитъ собирательное стекло *E*.



287.

Чтобы разсматриваніе мелкихъ предметовъ сдѣлать доступнымъ сразу многимъ (на публичныхъ чтеніяхъ и проч.), дѣйствительное изображеніе, доставляемое объективомъ, прямо отбрасывается на экранъ — какъ въ проекціонномъ фонарѣ. Тогда самый приборъ получаетъ названіе проекціоннаго микроскопа. (Проектируемый предметъ конечно долженъ быть очень сильно освѣщенъ, напр. электрическимъ или солнечнымъ свѣтомъ).

368. Для разсматриванія отдаленныхъ предметовъ служатъ зрительныя трубы. Въ простѣйшемъ видѣ астрономическая труба или телескопъ состоитъ, подобно микроскопу, изъ двухъ собирательныхъ стеколъ: объек-

перекрещивающихся взаимно-перпендикулярныхъ прямыхъ (рис. 290), то увидимъ его примѣрно такимъ, какъ представлено справа на томъ же рисункѣ. По краямъ стекла мы вмѣстѣ съ тѣмъ замѣтимъ радужныя каемки.

Ослабленіе названныхъ недостатковъ достигается тѣмъ, что одиночное оптическое стекло замѣняютъ цѣлой „системой“ стеколъ, надлежащимъ образомъ подобранныхъ и вставленныхъ въ общую оправу. Какъ объективъ, такъ и окуляръ въ микроскопахъ и телескопахъ дѣлаются сложными, что очень повышаетъ цѣну хорошихъ приборовъ.

371. Обратимся теперь къ вопросу объ увеличеніи, доставляемомъ оптическимъ приборомъ. Какъ уже сказано, назначеніе такихъ приборовъ, какъ лупа, микроскопъ и телескопъ, — увеличивать уголъ зрѣнія при разсматриваніи предметовъ. „Увеличеніемъ“ и называется здѣсь отношеніе угла зрѣнія, подъ которымъ глазъ нашъ видитъ въ приборъ изображеніе предмета, къ тому углу, подъ которымъ предметъ представляется при разсматриваніи его невооруженнымъ глазомъ — на наименьшемъ разстояніи яснаго зрѣнія, если дѣло касается близкихъ предметовъ.

Чтобы, хотя приблизительно, судить объ увеличеніи, надо одновременно смотрѣть на предметъ и на его изображеніе въ оптическомъ приборѣ. Если напр. наведемъ подзорную трубу (или бинокль) на отдаленный предметъ и будемъ смотрѣть однимъ глазомъ въ приборъ, а другимъ на самый предметъ, то тотчасъ увидимъ разницу въ величинѣ; сосчитывая, сколько разъ размѣръ видимаго простымъ глазомъ предмета умѣщается въ соотвѣтственномъ размѣрѣ его изображенія, мы составимъ себѣ нѣкоторое понятіе объ увеличеніи трубы. Для болѣе точнаго опредѣленія смотрятъ въ трубу на отдаленный масштабъ съ достаточно крупными дѣленіями и замѣчаютъ, сколько дѣленій масштаба покрываются напр. однимъ дѣленіемъ, видимымъ въ трубу. Если напр. одно дюймовое дѣленіе, видимое въ трубу, покрыло собою $2^1/_2$ футовыхъ дѣленія масштаба, то увеличеніе трубы около 30.

Для приблизительнаго опредѣленія увеличенія микроскопа смотрятъ въ него однимъ глазомъ на стеклянный масштабъ съ мелкими дѣленіями, а другимъ—на горизонтально положенный листокъ бумаги, отмѣчая карандашомъ разстояніе, занимаемое на бумагѣ изображеніемъ нѣсколькихъ дѣленій масштаба; потомъ отмѣченный промежутокъ измѣряютъ. При этомъ бумага должна находиться отъ глаза въ томъ разстояніи, на какомъ онъ видитъ изображеніе, т. е. на наименьшемъ разстояніи яснаго зрѣнія; для нормальнаго глаза его принимаютъ въ 25 см. Если на стеклянномъ масштабѣ 1 миллиметръ былъ раздѣленъ на 20 частей, и изображеніе двухъ дѣленій заняло на бумагѣ протяженіе въ 30 мм., то увеличеніе микроскопа около 300. Для болѣе точнаго опредѣленія служатъ нѣкоторые вспомогательные приборы.

372. О достоинствѣ микроскопа многіе, мало знакомые съ дѣломъ, склонны судить только по его „увеличенію“, считая, что приборъ тѣмъ лучше, чѣмъ „сильнѣе онъ увеличиваетъ“. Это требуетъ немаловажной поправки. Отъ разныхъ частностей въ устройствѣ микроскоповъ зависитъ то, что изъ двухъ приборовъ, при одинаковомъ увеличеніи, одинъ покажетъ намъ больше подробностей разсматриваемаго предмета, чѣмъ другой; тогда конечно первый лучше выполняетъ свое назначеніе. Возможно и то, что въ одинъ микроскопъ при увеличеніи въ 300 разъ видно больше подробностей, нежели въ другой при увеличеніи въ 400 разъ. — Для испытанія достоинства микроскоповъ, особенно при большихъ увеличеніяхъ, разсматриваютъ нѣкоторые очень мелкіе предметы съ извѣстнымъ уже строеніемъ или поверхностнымъ рисункомъ: „хорошій“ микроскопъ долженъ показать въ немъ при данномъ увеличеніи тѣ или другія подробности. „Пробнымъ предметомъ“ можетъ служить и стеклянная пластинка съ очень близко отстоящими другъ отъ друга тонкими черточками, напр. съ миллиметромъ, раздѣленнымъ на 1000 и болѣе частей.

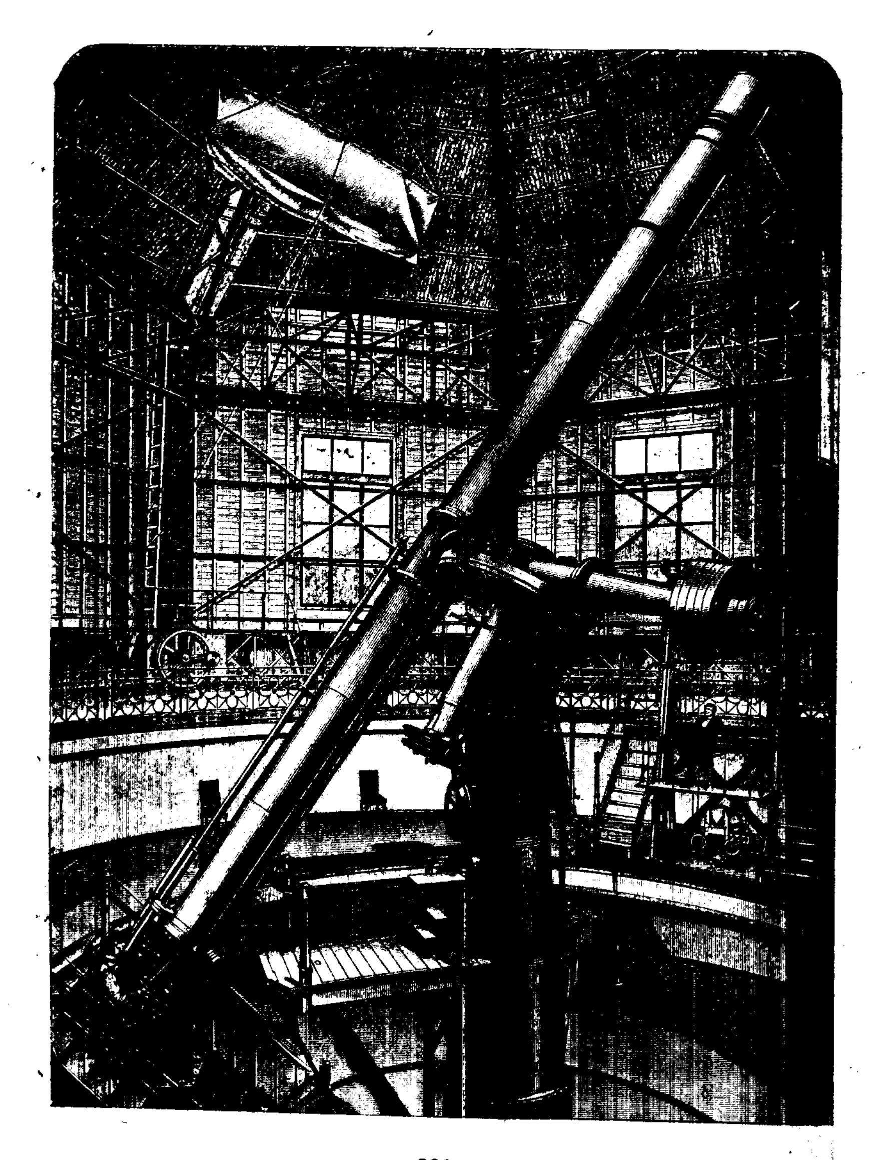
Чѣмъ сильнѣе увеличеніе, тѣмъ рѣзче сказываются вышеупомянутые недостатки стеколъ и тѣмъ слабѣе освѣщено поле зрѣнія; являются и другія усложняющія обстоятельства. Трудность наблюденія возрастаетъ вмѣстѣ съ увеличеніемъ, и требуется немало навыка, чтобы успѣшно пользоваться большими увеличеніями. — При увеличеніи въ 100, 200 или 300 разъ можно уже видѣть множество интереснѣйшихъ подробностей въ разныхъ мелкихъ предметахъ, иногда совершенно недоступныхъ простому глазу.

373*. Сказанное въ предыдущемъ § о микроскопахъ, вообще говоря, относится и къ астрономическимъ трубамъ. Количество подробностей, которое можно разсмотрѣть въ трубу, далеко не опредѣляется только лишь увеличеніемъ, хотя послѣднее конечно можетъ имѣть большое значеніе.

Простое геометрическое разсмотрѣніе показываетъ, что увеличеніе астрономической трубы приблизительно выражается отношеніемъ фокуснаго разстоянія объектива къ фокусному разстоянію окуляра. Если напр. фокусное разстояніе объектива 2 метра, а окуляра 1 сантиметръ, то увеличеніе около 200; таково же оно было бы при фокусныхъ разстояніяхъ—объектива въ 1 м., а окуляра $^1/_2$ см.

Слѣдовательно большихъ увеличеній можно достигать или беря объективъ съ большимъ фокуснымъ разстояніемъ (т. е. малой кривизны), или короткофокусные окуляры. Опытъ показалъ, что въ первомъ случаѣ различные недостатки изображеній возрастаютъ вмѣстѣ съ увеличеніемъ въ меньшей степени, чѣмъ во второмъ. Поэтому большихъ увеличеній стараются достичь удлиненіемъ фокуснаго разстоянія объектива; а это конечно ведетъ за собою удлиненіе всей трубы.

Съ другой стороны, при разсматриваніи очень слабо свѣтящихъ небесныхъ предметовъ весьма важно, чтобы въ трубу попадало отъ нихъ какъ можно больше свѣта. Это приводитъ



291.

къ необходимости увеличивать, насколько возможно, поверхность объектива, слѣдов. его діаметръ; значитъ приходится утолщать и самую трубу.

Такимъ то образомъ мало по малу произошли тѣ гигантскія трубы, съ помощью которыхъ астрономами сдѣлано много интереснѣйшихъ открытій на небѣ и которыя составляютъ гордость первоклассныхъ астрономическихъ обсерваторій. Рефракторъ обсерваторіи въ Пулковѣ близь Петербурга (рис. 291) имѣетъ длину около 7 сажень и діаметръ объектива въ 30 дюйм. (76 см.) [1], а величайшій нынѣ рефракторъ, на обсерваторіи университета въ Чикаго въ Соединенныхъ Штатахъ С. А., съ объективомъ въ 40 дюйм. (101,6 см.), достигаетъ длины около 9 сажень.

Большой помѣхой для наблюденій въ астрономическія трубы является земная атмосфера — какъ вслѣдствіе ея неполной прозрачности, такъ въ особенности по ея чрезвычайной подвижности. Неравномѣрное нагрѣваніе атмосфернаго воздуха производитъ въ немъ непрерывныя перемѣщенія (теченія); свѣтовые лучи, проходя сквозь воздушные слои постоянно измѣняющейся плотности, испытываютъ неравномѣрное и постоянно измѣняющееся преломленіе. Вслѣдствіе этого очертанія предметовъ, разсматриваемыхъ въ трубу при сколько нибудь значительномъ увеличеніи, постоянно дрожатъ — какъ бы волнуются и струятся. (Нѣчто сходное легко замѣтить и простымъ глазомъ, смотря на отдаленный предметъ сквозь воздухъ, поднимающійся надъ сильно нагрѣтой почвой; сюда же частью относится „мерцаніе" звѣздъ). Это дрожаніе становится тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше увеличеніе трубы.— Съ повышеніемъ надъ уровнемъ моря атмосферныя условія становятся болѣе благопріятными для астрономическихъ наблюденій. Вотъ главная причина сооруженія современныхъ горныхъ обсерваторій.

374. Всѣ оптическіе приборы, состоящіе изъ сферическихъ стеколъ, которые разсмотрѣны нами здѣсь и раньше, можно по устройству сгруппировать слѣдующимъ образомъ.

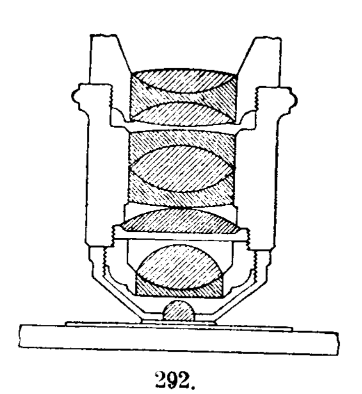
Приборы, существенную составную часть которыхъ образуетъ одно оптическое стекло: лупа, очки, фотографическая камера, проекціонный фонарь.

Приборы, состоящіе по меньшей мѣрѣ изъ двухъ оптическихъ стеколъ: микроскопъ, телескопъ. Сюда же можно присоединить извѣстный всѣмъ театральный бинокль: каждая изъ его трубокъ представляетъ собою т. наз. Галилееву трубу, объективъ которой—собирательное стекло, а окуляръ—разсѣивающее („уменьшительное"). Мы не будемъ останавливаться на описаніи этого прибора.

Изъ приборовъ, назначеніе которыхъ требуетъ не меньше трехъ оптическихъ стеколъ, была упомянута земная или подзорная труба.

[1] Одинъ только объективъ, состоящій изъ двухъ стеколъ, вѣситъ съ оправою около 11 пудовъ.

Въ хорошихъ приборахъ, какъ сказано въ § 370, одиночныя стекла обыкновенно замѣняются сложными, такъ что подъ „однимъ“ стекломъ слѣдуетъ тогда подразумѣвать соединенную въ одно цѣлое систему оптическихъ стеколъ. Для примѣра на рис. 292 изображенъ разрѣзъ чрезъ объективъ первокласснаго микроскопа (въ тройной противъ дѣйствительности величинѣ); такая „система“ состоитъ изъ десятка отдѣльныхъ стеколъ и одна стоитъ нѣсколько сотень рублей.

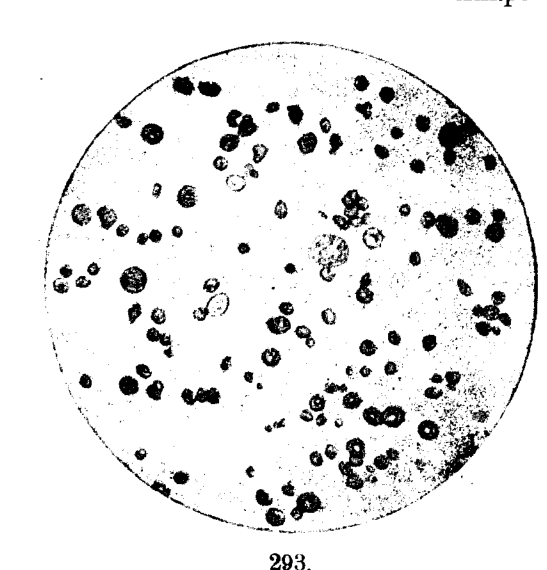


292.

О значеніи оптическихъ приборовъ.

375*. Каждый изъ названныхъ оптическихъ приборовъ состоитъ въ сущности изъ одного или нѣсколькихъ кусковъ стекла, извѣстнымъ образомъ отшлифованныхъ и опредѣленнымъ образомъ расположенныхъ одинъ относительно другого. И сколько новаго доставляютъ намъ эти сочетанія стеколъ, благодаря вложеннымъ въ нихъ уму и изобрѣтательности человѣка!

Вооруженіе глаза оптическими приборами какъ бы обостряетъ этотъ органъ нашихъ чувствъ и тѣмъ сильно расширяетъ область доступнаго зрѣнію. Уже въ обыкновенный микроскопъ хорошо видны такъ называемыя красныя тѣльца нашей крови, которыхъ умѣстилось бы больше сотни на протяженіи одного миллиметра; въ 1 куб. миллиметрѣ (примѣрно объемъ капли, пристающей къ острію иголки) ихъ содержится нѣсколько милліоновъ [1]. — Лучшіе современные микроскопы показываютъ вполнѣ раздѣльными двѣ тонкихъ черточки, находящихся въ разстояніи $^1/_{7000}$ миллиметра, что примѣрно въ 500 разъ меньше



293.

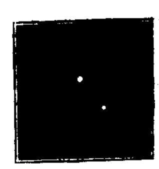
[1] На рис. 293, изображающемъ ихъ увеличенными въ 200 разъ, это—тѣ, которыя кажутся какъ бы съ кружочкомъ внутри.

толщины волоса съ головы человѣка. Невооруженный глазъ на наиболѣе близкомъ разстояніи въ 10 см. можетъ еще различить двѣ черты, отстоящія на $^1/_{40}$ мм.; слѣдовательно микроскопъ повышаетъ чувствительность или воспріимчивость нашего органа зрѣнія почти въ 200 разъ.

Нѣкоторое понятіе о томъ, въ какой мѣрѣ нашъ кругозоръ расширяется благодаря вооруженію глаза астрономическими трубами, могутъ дать слѣдующіе примѣры.

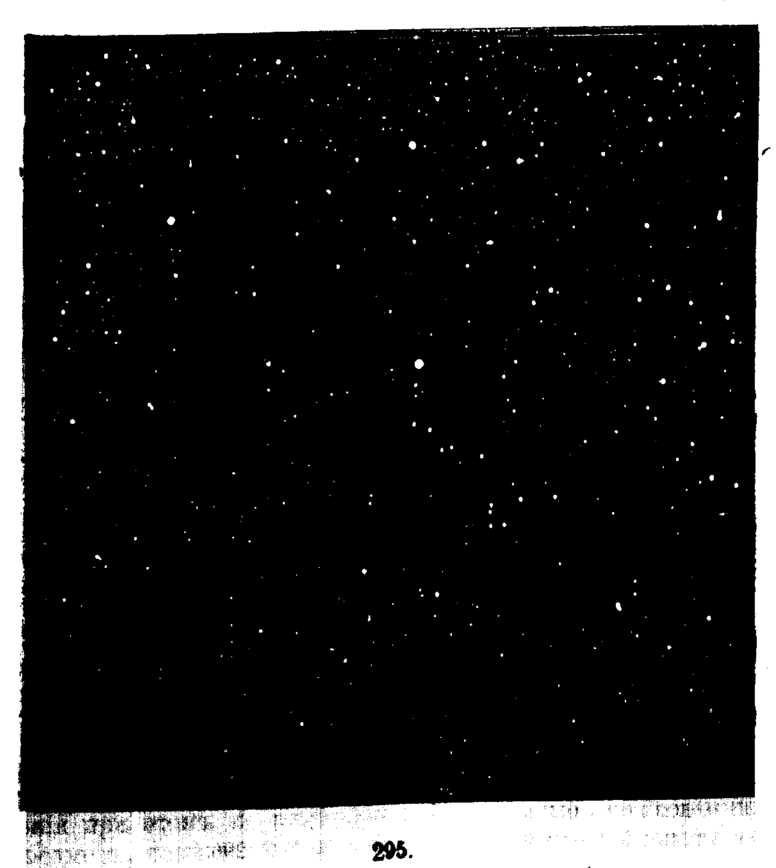
Планета марсъ имѣетъ два спутника, діаметръ которыхъ всего около 10 километровъ (около 9 верстъ), и однако присутствіе ихъ обнаружено съ полною увѣренностью, хотя планета со своими спутниками не бываетъ ближе 55 милліоновъ километровъ (50 милл. верстъ) отъ земли.

Хорошій глазъ можетъ видѣть на всемъ небѣ до $5^1/_2$ тысячъ звѣздъ. Общее же число звѣздъ, которыя еще видны въ большія трубы нашего времени, достигаетъ почти сотни милліоновъ.



294.

На рис. 294 и 295 изображена небольшая часть



295.

Оба рисунка помѣщены в разныхъ поворотахъ

небеснаго свода (въ созвѣздіи близнецовъ), какъ она представляется простому глазу, и въ такой телескопъ (съ діаметромъ объектива въ 27 см.), который на обсерваторіяхъ отнесли бы къ числу малыхъ. Вмѣсто 6 звѣздъ можно тогда видѣть болѣе 3200.

Микроскопъ и телескопъ сдѣлались мощными орудіями научнаго изслѣдованія; они открыли взору естествоиспытателей, можно сказать, два новыхъ міра, исполненныхъ живѣйшаго интереса, а примѣненіе микроскопа къ изученію жизни мельчайшихъ существъ (микроорганизмовъ) оказало кромѣ того неоцѣнимую услугу дѣлу лѣченія и предупрежденія болѣзней.

Превосходнымъ обыденнымъ примѣромъ того, какъ даже простыя оптическія приспособленія могутъ совершенствовать наши чувства, служатъ очки. Для сильно близорукаго весь ясно видимый міръ ограничивается пространствомъ, радіусъ котораго всего нѣсколько шаговъ; приставленный же къ глазу кусочекъ отшлифованнаго стекла расширяетъ его кругозоръ до неопредѣленной дали.

Каждому извѣстно, какимъ важнымъ подспорьемъ въ дѣлѣ распространенія образованія и интереса къ знанію сдѣлался проекціонный фонарь.

Что касается фотографіи, которая основывается на закрѣпленіи дѣйствительныхъ изображеній, доставляемыхъ оптическимъ стекломъ, то она успѣла расширить свою область далеко за предѣлы обыденнаго примѣненія—сдѣлаться однимъ изъ важнѣйшихъ пріемовъ научнаго изслѣдованія, о чемъ будетъ кое-что сказано въ слѣдующей главѣ.

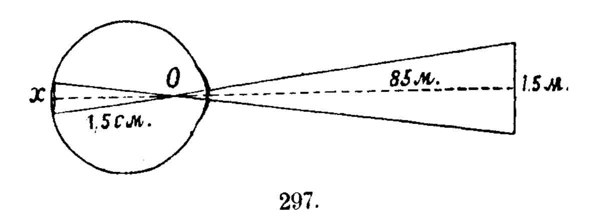
Нельзя наконецъ не упомянуть попутно о роли спектроскопа (гл. XIX). Въ тѣснѣйшей связи со свойствами оптическихъ стеколъ находятся и великіе результаты, достигнутые спектральнымъ анализомъ, помощью котораго можно обнаружить почти невѣсомыя количества нѣкоторыхъ элементовъ (напр. менѣе милліонной доли миллиграмма натрія) и сдѣлать нѣкоторыя опредѣленныя заключенія о химическомъ составѣ такихъ небесныхъ тѣлъ, отъ которыхъ свѣтовые лучи достигаютъ до насъ въ сотни и болѣе лѣтъ...

---

351. На какомъ разстояніи человѣкъ средняго роста, около 1,5 м., представится намъ подъ угломъ зрѣнія въ 1°? *Отв.* Вышину предмета ab (рис. 296) при столь маломъ углѣ зрѣнія можно считать равною длинѣ дуги круга, соотвѣтствующей углу въ 1°; послѣдняя же составляетъ $\frac{3,14}{180}$, или 0,0175 радіуса. Слѣдов. $0{,}0175x = 1{,}5$ м., откуда искомое разстояніе x выходитъ = 85 м. съ небольшимъ, т. е. около 120 шаговъ. — Какой вышины долженъ быть предметъ, помѣщенный

296.

на разстояніи 1 м. отъ глаза, перпендикулярно къ линіи зрѣнія, чтобы онъ представлялся подъ угломъ зрѣнія въ 1°? *Отв.* Такъ какъ вышина предмета при углѣ зрѣнія въ 1° составляетъ 0,0175 его разстоянія отъ глаза (см. пред. вопросъ) то она будетъ=0,0175 м.= 1,75 см. (Таковъ приблиз. діаметръ *гривенника*. Слѣдов. гривенникъ на разстояніи 2 м.—около сажени—отъ глаза приблизительно покроетъ собою дискъ солнца или луны). — Видимая угловая величина солнца и луны почти одинакова, именно около $\frac{1}{2}$°, между тѣмъ какъ солнце гораздо больше луны. Каково должно быть соотношеніе между размѣрами солнца и луны и разстояніями ихъ отъ земли? (Разстояніе солнца принять въ 24000, а луны — въ 60 земныхъ радіусовъ; діаметръ солнца=108 земныхъ діаметровъ, луны $\frac{3}{11}$).— Узловая точка O глаза (см. § 350) находится приблизительно въ разстояніи 1,5 см. отъ средины сѣтчатки. Какова на сѣтчаткѣ величина изображенія человѣка ростомъ въ 1,5 м., находящагося въ разстояніи 85 м. (120 шаговъ) отъ глаза? (Тогда именно уголъ



297.

зрѣнія около 1°, см. первый вопр.). *Отв.* Изъ пропорціи (см. рис. 297) $x : 150 = 1{,}5 : 8500$ находимъ x около $\frac{1}{4}$ мм.— Глазъ видитъ двѣ точки раздѣльно, когда ихъ угловое разстояніе не менѣе 1′. Каково тогда разстояніе между изображеніями точекъ на сѣтчаткѣ? *Отв.* Дуга, соотвѣтствующая 1′, составляетъ около 0,0003 радіуса; слѣдов. x=0,0003.15 мм. (см. пред. вопр.), т. е. 0,0045 мм., что нѣсколько менѣе $\frac{1}{200}$ мм.—**358**. Почему люди съ сильно выпуклой роговой оболочкою глазъ („пучеглазые") обыкновенно бываютъ близоруки?—**359**. Какъ именно надо расположить два призматическихъ стекла стереоскопа, чтобы, смотря въ нихъ, мы видѣли оба рисунка наложенными другъ на друга? (Сдѣлать чертежъ).—**360**. Роль лупы очень сходна съ ролью очковъ для дальнозоркаго глаза; въ чемъ именно сходство? *Отв.* Въ обоихъ случаяхъ собирательное стекло даетъ возможность придвинуть разсматриваемый предметъ къ глазу ближе, чѣмъ позволила бы преломляющая способность послѣдняго. — **369**. Какъ именно помѣстить между объективомъ и окуляромъ подзорной трубы то добавочное стекло, назначеніе котораго обращать даваемое объективомъ изображеніе, при условіи, чтобы величина изображенія при этомъ не измѣнялась? *Отв.* Надо имѣть въ виду, что предметъ, помѣщенный на двойномъ фокусномъ разстояніи отъ

собирательнаго стекла, даетъ изображенiе также на двойномъ фокусномъ разстоянiи и равное предмету, но обратное. (Сдѣлать чертежъ).—**373**. Если дiаметръ объектива трубы увеличить вдвое, втрое, то во сколько разъ увеличится количество воспринимаемаго имъ свѣта?—**375**. Сколько вѣситъ кубическiй кристаллъ вещества съ относ. плотностью 2,7, который еще виденъ подъ микроскопомъ при увеличенiи въ 600 разъ,— если принять, что невооруженнымъ глазомъ можно различить кубическую форму кристалла, котораго ребра имѣютъ $^1/_5$ мм.? *Отв.* Ребро кристалла подъ микроскопомъ $= \frac{1}{3000}$ мм., объемъ кристалла $= \frac{1}{(3000)^3}$ куб. мм., а его вѣсъ $\frac{2,7}{(3000)^3}$ = одной *десятимилліардной миллиграмма* (одной десятибилліонной грамма). — Разстоянiе луны отъ земли около 360000 верстъ. При какомъ увеличенiи астрономической трубы части лунной поверхности казались бы такихъ размѣровъ, какъ если бы луна была въ разстоянiи 100 верстъ отъ земли? *Отв.* 3600 (увеличенiе близкое къ высшей границѣ примѣняемаго въ современныхъ телескопахъ) [1].—Дiаметръ солнца около 1400000 км., разстоянiе солнца отъ земли ок. 150 милл. км.; объективъ 40-дюймоваго рефрактора Iеркса въ Чикаго даетъ дѣйствительное изображенiе солнца дiаметромъ въ 17,5 см. Найти отсюда (сдѣлавъ вспомогательный чертежъ) фокусное разстоянiе объектива. *Отв.* $x : 17,5 = 150000000 : 1400000$, откуда фокусное разстоянiе выходитъ $= 18,7$ м.—Каково было бы увеличенiе этого рефрактора при фокусномъ разстоянiи окуляра въ 0,5 см.? (См. § 373). *Отв.* Отношенiе фокусныхъ разстоянiй объектива и окуляра $= 1870 : 0,5 = 3740$.

XXI.

Тепловыя и химическiя дѣйствiя лучей. Особыя явленiя свѣченiя нераскаленныхъ тѣлъ. Невидимые лучи. Объ эфирныхъ волнахъ.

Тепловое дѣйствiе лучей.

376*. Поверхностью нашего тѣла **солнечные лучи** ощущаются какъ тепло; падая на разные предметы, они болѣе или менѣе нагрѣваютъ ихъ. Отъ тепла лучей мы можемъ „заслонить“ предметы, какъ и отъ свѣта. Тепловое дѣйствiе присуще лучамъ и послѣ ихъ отраженiя или преломленiя. Принявъ отраженные лучи на вогнутое сферическое зеркало или на двояковыпуклое сферическое стекло, мы въ главномъ фокусѣ получимъ уже сильное повышенiе температуры (см. §§ 301 и 319). Солнечные лучи можно назвать **тепловыми** съ тѣмъ же правомъ, какъ называютъ ихъ свѣтовыми.

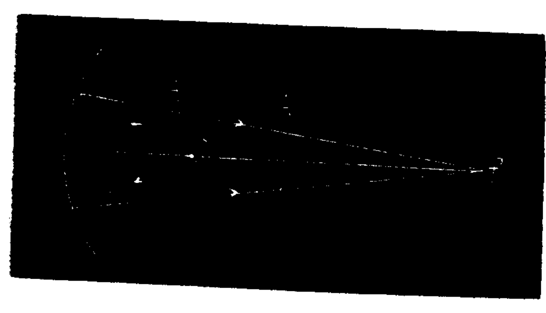
[1] При наибольшемъ достигнутомъ увеличенiи поверхность луны видна такъ, какъ будто бы она была отъ насъ въ разстоянiи менѣе 60 верстъ.

Что касается нашихъ обычныхъ **искусственныхъ источниковъ свѣта**, то испускаемые ими лучи, вообще говоря, обладаютъ свойствами солнечныхъ; нѣкоторыя отличiя зависятъ главнымъ образомъ отъ болѣе низкой, сравнительно съ солнцемъ, температуры источника. Стоя неподалеку отъ костра, кузнечнаго горна или плавильной печи, мы ощущаемъ тепловое дѣйствiе лучей на лицѣ и другихъ частяхъ поверхности нашего тѣла; при достаточной близости сильнаго источника можно получить обжогъ, какъ отъ прикосновенiя къ сильно нагрѣтому предмету. Тепловое дѣйствiе никоимъ образомъ нельзя приписать здѣсь передачѣ теплоты воздухомъ. Въ самомъ дѣлѣ, тепло ощущается только тѣми частями лица или рукъ, которыя обращены къ источнику, и тепловое ощущенiе тотчасъ исчезаетъ, если заслонить эти части тѣла доскою или кускомъ папки,—чего не могло бы быть, если бы окружающiй насъ воздухъ былъ горячъ и сообщалъ бы намъ теплоту чрезъ соприкосновенiе. Что тепловое дѣйствiе распространяется въ подобныхъ случаяхъ **не чрезъ посредство воздуха**, особенно наглядно доказывается ощущенiемъ жара отъ костра на значительномъ разстоянiи даже на морозѣ. Самый воздухъ по сторонамъ теплового источника мало нагрѣвается, а нагрѣтый тотчасъ же уносится кверху.

Пламя лампы, свѣчи и пр. даетъ намъ возможность наблюдать тѣ же явленiя, хотя и въ болѣе слабой степени. Тепло, ощущаемое рукою, которую держатъ вблизи пламени (сбоку), происходитъ именно отъ дѣйствiя лучей.

377. Сосредоточивая лучи помощью **отраженiя** или **преломленiя**, можно въ значительной степени усилить ихъ дѣйствiе. Вотъ нѣсколько относящихся сюда опытовъ.

Помѣстимъ противъ металлическаго зеркала вогнутой сферической формы пламя свѣчи S (пламя бензинной или газовой горѣлки) на такомъ разстояніи по оптической оси, чтобы оно находилось между главнымъ фокусомъ и центромъ кривизны, и опредѣлимъ мѣсто схожденія отраженныхъ лучей, т. е. мѣсто изображенія пламени: оно будетъ, какъ мы знаемъ, по ту сторону центра (въ f рис. 298). Въ этомъ мѣстѣ удается обнаружить и тепловое дѣйствіе, напр. съ помощью воздушнаго термоскопа (§ 150), или даже непосредственно рукою (тыльною ея частью). Въ сторонѣ же отъ мѣста схожденія лучей мы тѣми же способами не замѣтимъ нагрѣванія, ибо прямое дѣйствіе лучей, расходящихся отъ источника, быстро ослабѣваетъ съ увеличеніемъ разстоянія (по тому же закону, какъ и для свѣта, §§ 276 и 277). Кускомъ жести или папки, помѣщеннымъ на пути лучей—въ A или, что особенно любопытно, въ B, т. е. между пламенемъ и зеркаломъ,—можно задержать ихъ, и термоскопъ перестанетъ обнаруживать повышеніе температуры; спустя нѣкоторое время онъ даже начнетъ показывать пониженіе (тѣмъ болѣе быстрое, чѣмъ значительнѣе онъ былъ нагрѣтъ), такъ какъ температура его станетъ выравниваться съ температурою окружающаго воздуха.—Если, наоборотъ, источникъ помѣстить въ f, то тепловое дѣйствіе отраженныхъ лучей сосредоточится въ S.— Въ случаѣ сильнаго теплового источника, напр. электрическаго фонаря, въ мѣстѣ схожденія лучей вспыхнутъ спички.



298.

Подобныя же явленія можно наблюдать, сосредоточивая лучи преломленіемъ посредствомъ оптическихъ стеколъ. Такъ какъ лучи частью задерживаются стекломъ (насчетъ этой части стекло нагрѣвается), то опыты выходятъ достаточно наглядными только съ очень сильными источниками. Напр. въ главномъ фокусѣ собирательнаго стекла, на которое направленъ по оси параллельный пучекъ лучей отъ электрическаго фонаря, загорятся спички [1].

Въ фокусѣ яркихъ солнечныхъ лучей, прошедшихъ сквозь большую двояковыпуклую чечевицу изъ прозрачнаго льда, загорается дерево.

378*. Что касается степени нагрѣванія тѣлъ лучами, то она очень различна, ибо нагрѣваніе связано съ весьма различною способностью тѣлъ поглощать лучи. Ограничимся здѣсь нѣсколькими примѣрами различнаго отношенія тѣлъ къ солнечнымъ лучамъ.

Всякій знаетъ, что для защиты отъ солнечнаго тепла прибѣгаютъ къ бѣлой одеждѣ. Но бѣлая поверхность есть именно такая, которая отражаетъ сравнительно много падающихъ на нее солнечныхъ лучей и мало поглощаетъ. Если выставимъ на солнце два стакана съ одинаковыми количествами воды, обернувъ одинъ бѣлою, другой черной матовой бумагою, то по истеченіи нѣкотораго времени найдемъ, что въ первомъ вода нагрѣлась менѣе, чѣмъ во второмъ. Кусокъ льду, обернутый черной матеріей, подъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей будетъ таять быстрѣе, чѣмъ такой же кусокъ, защищенный отъ солнечнаго тепла бѣлой матеріей. Подоконникъ, выкрашенный черной краской, нагрѣвается солнечными лучами гораздо сильнѣе, чѣмъ бѣлый. Въ фокусѣ солнечныхъ лучей, собранныхъ зажигательнымъ стекломъ, гораздо труднѣе зажечь бѣлую бумагу или матерію, нежели черную.

Полированная металлическая поверхность (въ особенности серебряная), какъ хорошо отражающая солнечные лучи, также можетъ служить щитомъ противъ ихъ теплового дѣйствія.

Чистое оконное стекло менѣе нагрѣвается солнечными лучами, нежели загрязненное, которое въ большей мѣрѣ задерживаетъ лучи.

Воздухъ, особенно въ верхнихъ частяхъ атмосферы,

---

[1] Можно прямо держать ихъ въ вершинѣ свѣтового конуса, доставляемаго конденсаторомъ фонаря при надлежащемъ его выдвиганіи. — Надо замѣтить, что употребляемыя нынѣ „шведскія“ спички загораются труднѣе прежнихъ „фосфорныхъ“, съ которыми гораздо легче удаются названные опыты. Хорошо головки спичекъ предварительно покрыть сажею.

очень прозраченъ для солнечныхъ лучей, т. е. поглощаетъ лишь небольшую долю ихъ, а потому мало нагрѣвается ими. (Онъ заимствуетъ теплоту главнымъ образомъ отъ нагрѣтой поверхности земли). Однако, такъ какъ солнечнымъ лучамъ приходится пронизывать воздушную оболочку значительной толщины, то тепловое ихъ дѣйствіе по достиженіи земли замѣтно ослабѣваетъ. Считаютъ, что при отвѣсномъ паденіи лучей не менѣе $^2/_5$ задерживается атмосферой. Чѣмъ косвеннѣе падаютъ лучи на землю, тѣмъ болѣе толстый слой воздуха имъ приходится проходить и тѣмъ значительнѣе ослабѣваетъ ихъ тепловое дѣйствіе: каждый знаетъ, какъ слабо грѣетъ солнце, когда оно находится близъ горизонта.

Химическое дѣйствіе лучей; понятіе о фотографіи.

379. Поглощеніе лучей во многихъ случаяхъ производитъ въ тѣлахъ и химическія измѣненія, т. е. измѣненія въ составѣ вещества тѣлъ. Сюда относится напр. всѣмъ извѣстное „отцвѣтаніе“ матерій, подверженныхъ дѣйствію солнечныхъ лучей: цвѣтъ матеріи измѣняется именно вслѣдствіе измѣненія химическаго состава красящаго вещества. Обезцвѣчиваніе или бѣленіе холста дѣйствіемъ лучей солнца основывается на химическомъ измѣненіи естественной краски ткани.

Такъ называемый круговоротъ углерода въ органическомъ мірѣ (§ 208) тѣснѣйшимъ образомъ связанъ съ разложеніемъ углекислаго газа въ зеленыхъ частяхъ растеній подъ вліяніемъ солнечныхъ лучей, т. е. съ химическимъ ихъ дѣйствіемъ.

Извѣстно и множество минеральныхъ тѣлъ, химически измѣняющихся дѣйствіемъ лучей. Для насъ особенно интересно отмѣтить здѣсь разложеніе нѣкоторыхъ тѣлъ, въ составъ которыхъ входитъ серебро, т. наз. серебряныхъ солей. На свѣту изъ нихъ выдѣляется серебро въ состояніи мельчайшаго раздробленія; такъ какъ серебро въ столь измельченномъ видѣ имѣетъ болѣе или менѣе темный цвѣтъ, то серебряная соль, выставленная на солнечный или разсѣянный дневной свѣтъ, чернѣетъ. На этомъ, какъ увидимъ ниже, основывается фотографія.

Химическое дѣйствіе свойственно лучамъ и другихъ источниковъ, кромѣ солнца, но въ чрезвычайно различной степени. Свѣтъ магнія напр. дѣйствуетъ на серебряныя соли весьма сильно, а свѣтъ свѣчи или керосиновой лампы едва замѣтно. (Если кусокъ фотографической бумаги накрыть папкою съ отверстіями и освѣтить горящимъ магніемъ, то въ мѣстахъ, соотвѣтствующихъ отверстіямъ, бумага быстро потемнѣетъ).—Притомъ надо имѣть въ виду, что химическое дѣйствіе лучей, какъ и тепловое, зависитъ не только отъ свойствъ источника, но и отъ свойствъ того вещества, на которое лучи падаютъ. Необходимымъ условіемъ здѣсь тоже является способность вещества поглощать лучи даннаго рода.

Химическое дѣйствіе свойственно лучамъ и послѣ ихъ отраженія или преломленія; но оно конечно можетъ быть болѣе или менѣе ослаблено поглощеніемъ въ тѣхъ срединахъ, чрезъ которыя лучамъ приходится проникать.

380. Фотографія (буквально—свѣтопись) основывается главнымъ образомъ на разложеніи лучами серебряныхъ солей — на выдѣленіи изъ нихъ серебра. Болѣе или менѣе темный цвѣтъ серебрянаго осадка связанъ съ количествомъ выдѣлившагося металла; послѣднее же зависитъ отъ бо́льшей или меньшей напряженности лучей, т. е. отъ степени освѣщенія слоя серебряной соли разными частями фотографируемаго предмета.

Для того, чтобы на покрытой серебряными солями (по разнымъ рецептамъ) свѣточувствительной пластинкѣ воспроизвести какъ можно точнѣе всѣ свѣтовые оттѣнки оригинала, пользуются дѣйствительными изображеніями, доставляемыми собирательнымъ стекломъ. Свѣточувствительная пластинка ставится именно въ то мѣсто фотографической камеры (§ 325), гдѣ получается—предварительно на матовомъ стеклѣ — отчетливое изображеніе предмета вслѣдствіе собиранія лучей объективомъ. Такъ какъ разныя точки пластинки въ тѣхъ частяхъ ея, куда падаетъ изображеніе, освѣщаются тогда вполнѣ опредѣленными точками предмета, то свѣтовые оттѣнки изображенія будутъ въ точности соотвѣтствовать свѣтовымъ оттѣнкамъ оригинала. Согласно послѣднимъ распредѣляется слѣдова-

тельно и химическое дѣйствіе лучей на свѣточувствительный слой.

Дѣйствіе лучей при достаточно долгой „выставкѣ“ или „экспозиціи“ сказалось бы бо́льшимъ или меньшимъ потемнѣніемъ свѣточувствительнаго слоя въ мѣстахъ, соотвѣтствующихъ свѣтлымъ частямъ предмета. Но въ дѣйствительности нѣтъ надобности этого дожидаться. Найдено, что дѣйствіе лучей, даже гораздо болѣе кратковременное, сообщаетъ свѣточувствительному слою (не выясненнымъ еще образомъ) способность выдѣлять серебро отъ соприкосновенія съ нѣкоторыми веществами, которыя и сами по себѣ стали бы разлагать серебряную соль: густота выдѣляющагося при этомъ серебрянаго осадка вполнѣ соотвѣтствуетъ „подготовкѣ“ разныхъ мѣстъ чувствительнаго слоя предварительнымъ дѣйствіемъ лучей. Обработка пластинки — послѣ выставки ея въ аппаратѣ—съ цѣлью вызвать на ней изображеніе называется *проявленіемъ*, а употребляемыя для этого вещества (различныхъ рецептовъ) называются проявителями. Болѣе или менѣе продолжительное соприкосновеніе съ проявителемъ даетъ возможность работающему управлять въ требуемыхъ границахъ густотою получаемаго осадка.

Послѣ проявки на пластинкѣ остаются еще неразложенныя серебряныя соли, которыя должны быть смыты (растворены) подходящими веществами, чтобы пластинка утратила чувствительность къ свѣту (обыкновенно берутъ растворъ т. наз. сѣрноватисто-натріевой соли, или „гипосульфита“ по терминологіи фотографовъ). Эта операція называется *закрѣпленіемъ* (фиксаціей) изображенія.—Какъ проявка, такъ и закрѣпленіе производятся при искусственномъ освѣщеніи краснымъ свѣтомъ, который почти не дѣйствуетъ на обыкновенную фотографическую пластинку.—На пластинкѣ остается такимъ образомъ лишь *осадокъ серебра* разной густоты, причемъ наиболѣе темныя ея мѣста конечно соотвѣтствуютъ наиболѣе свѣтлымъ частямъ предмета, а части пластинки, отвѣчающія темнымъ мѣстамъ оригинала, будутъ почти совсѣмъ прозрачны. Полученное изображеніе называется негативнымъ („отрицательнымъ“) или *негативомъ*.

Помѣщая затѣмъ негативъ на *свѣточувствительную бумагу* (т. е. бумагу, покрытую свѣточувствительнымъ слоемъ изъ серебряныхъ солей) и выставляя на свѣтъ, получаютъ на бумагѣ окончательный (позитивный или положительный) отпечатокъ изображенія съ соотвѣтствующимъ оригиналу распредѣленіемъ свѣта и тѣни. Остается еще „закрѣпить“ его смываніемъ неразложившагося остатка серебряныхъ солей. — Когда надо получить *прозрачный* отпечатокъ, копированіе съ негатива производится обыкновенно на покрытомъ свѣточувствительнымъ слоемъ стеклѣ. Такіе *діапозитивы* (т. е. прозрачные позитивы) изготовляются для отбрасыванія изображеній на экранъ съ помощью проекціоннаго фонаря.

Пріемы фотографированія заключаютъ въ себѣ еще разныя подробности, о которыхъ здѣсь говорить было бы излишне.

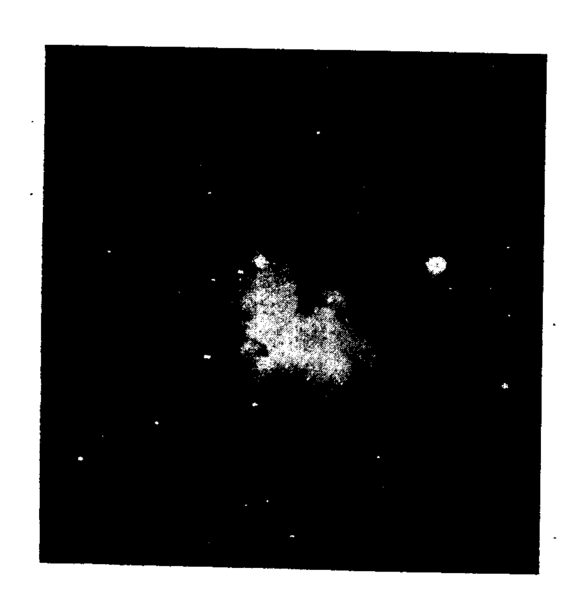
381. *Примѣненія фотографіи*, кромѣ общеизвѣстнаго сниманія портретовъ и видовъ, чрезвычайно многочисленны въ различныхъ областяхъ науки и техники. О важности ихъ могутъ дать нѣкоторое понятіе слѣдующіе примѣры.

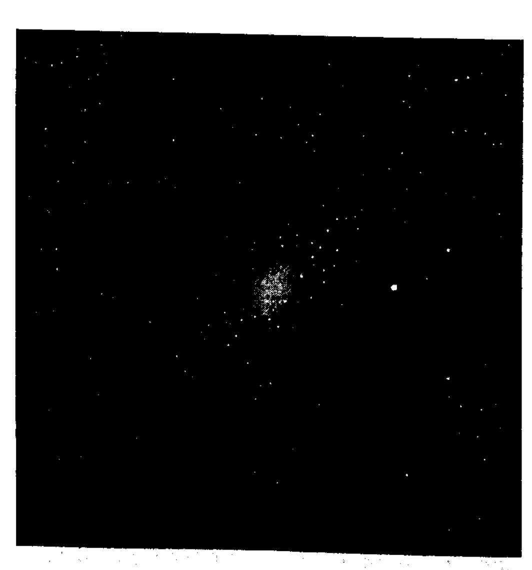
Фотографированіе микроскопическихъ препаратовъ при болѣе или менѣе сильномъ увеличеніи (микрофотографія) позволяетъ съ большою точностью закрѣплять изображеніе мельчайшихъ подробностей предмета и дѣлаетъ возможнымъ разсматриваніе ихъ многими. (См. напр. выше рис. 293, изображающій кровяныя тѣльца человѣка).

Съ другой стороны, фотографія отдаленныхъ отъ насъ небесныхъ объектовъ (астрофотографія) иногда точнѣе всякихъ другихъ пріемовъ позволяетъ опредѣлять ихъ относительное положеніе на небесномъ сводѣ путемъ измѣреній на фотографическомъ снимкѣ. Оказалось кромѣ того, что на свѣточувствительной пластинкѣ, при достаточно продолжительной выставкѣ, запечатлѣваются изображенія столь слабосвѣтящихъ тѣлъ на небѣ, что они едва видимы или совсѣмъ невидимы въ сильнѣйшіе телескопы. Нечего и говорить, что фотографическіе снимки неба являются какъ бы документами его внѣшняго вида въ данное время, такъ что путемъ сравненія снимковъ, сдѣланныхъ черезъ большіе промежутки времени, можно съ увѣренностью обнаружить на немъ такія измѣненія въ видѣ и расположеніи свѣтилъ, которыя иначе могли бы остаться гадательными или вовсе незамѣченными. Выполняемая въ настоящее время международными силами *фотографическая карта звѣзднаго неба*, которая будетъ заключать въ себѣ *до 40 милліоновъ* звѣздъ, имѣетъ между прочимъ именно это назначеніе.

Примѣрами фотографій съ небесныхъ предметовъ могутъ служить снимки съ такъ называемыхъ „туманностей“ (рис. 299),

любопытнѣйшихъ слабо-свѣтящихся образованій, какія въ большомъ числѣ встрѣчаются въ безднахъ звѣзднаго міра, и снимокъ съ луны съ освѣщеннымъ на половину дискомъ (рис. 300): здѣсь на границѣ свѣта и тѣни видны очень характерныя для лунной поверхности возвышенности, напоминающіе собою кратеры вулкановъ.



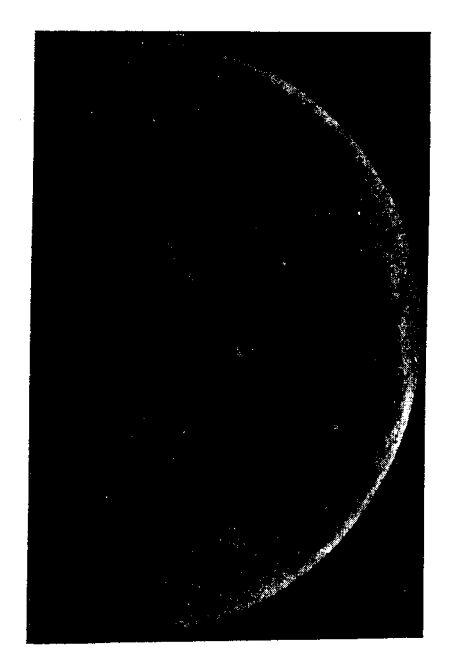


299.

Чрезвычайная чувствительность современныхъ фотографическихъ пластинокъ (спеціальнаго изготовленія) даетъ возможность дѣлать такъ называемые **моментальные снимки** съ предметовъ сильно свѣтящихъ или въ достаточной мѣрѣ освѣщенныхъ. Отъ прямыхъ солнечныхъ лучей можно получить дѣйствіе уже въ теченіе 0,00001 секунды. Вообще же при фотографированіи хорошо освѣщенныхъ солнцемъ предметовъ достаточно сотыхъ долей секунды. Для выполненія подобныхъ снимковъ устраиваются „моментальные затворы“, позволяющіе ограничивать дѣйствіе лучей на пластинку весьма малыми промежутками времени.

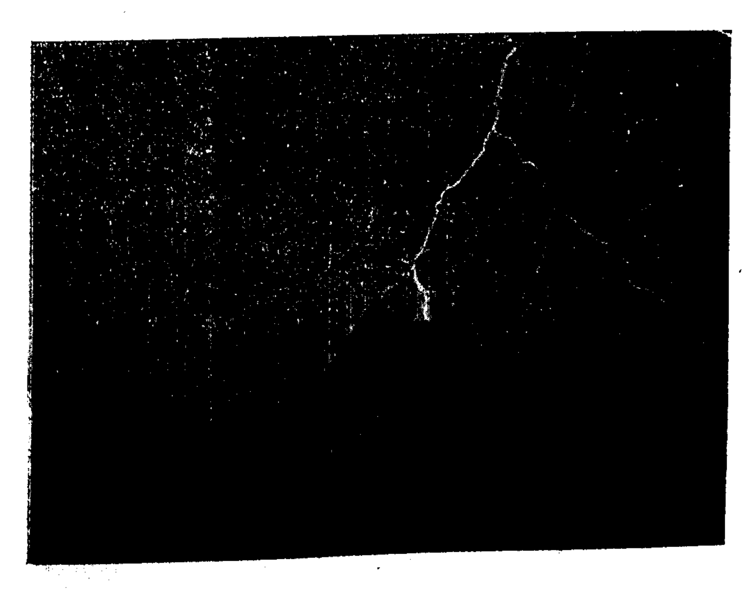
Нѣкоторыя очень быстро протекающія явленія могутъ быть со всѣми подробностями запечатлѣны моментальной фотографіей. Такъ получаются напр. превосходные снимки молніи (см. рис. 301). Такъ удается фотографировать быстро движущійся предметъ въ его

разныхъ положеніяхъ—даже **ружейную пулю при полетѣ**, вмѣстѣ съ тѣми слоями воздуха измѣненной плотности, которыя непосредственно окружаютъ пулю (рис. 302). Рис. 303 представляетъ рядъ моментальныхъ снимковъ съ падавшаго и потомъ отскочившаго шарика, сдѣланныхъ чрезъ малые, но одинаковые промежутки времени; можно видѣть, какъ разстоянія, пробѣгаемыя падающимъ шарикомъ, съ теченіемъ времени все увеличиваются (соотвѣтственно возрастанію скорости), а летящимъ вверхъ — уменьшаются; измѣреніемъ разстоянія между центрами можно было бы на подобномъ снимкѣ обнаружить и самый законъ свободнаго паденія (§ 100).



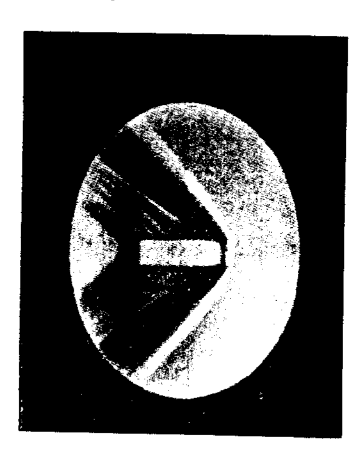
300.

Благодаря моментальнымъ снимкамъ съ живыхъ существъ, на-



301.

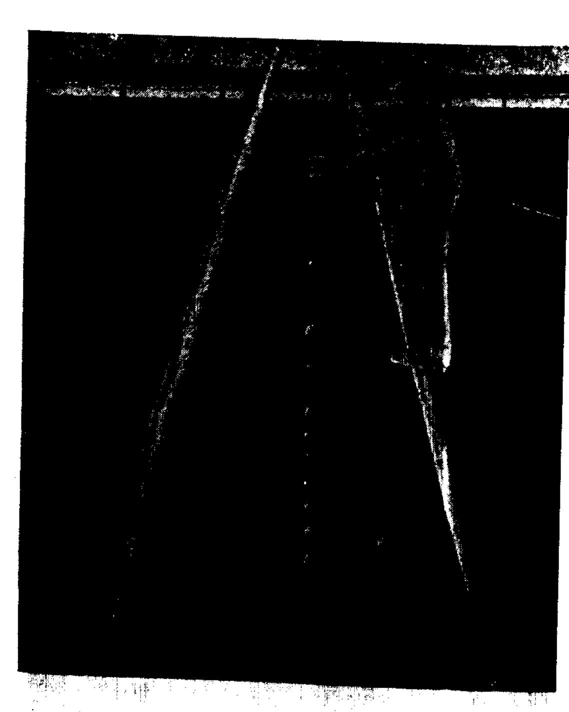
ходящихся въ движеніи, напр. со скачущей лошади, летящей птицы и т. п., удалось ближе познакомиться съ механизмомъ ихъ бѣга, полета и пр. Для примѣра на рис. 304 представленъ рядъ мгновенныхъ снимковъ съ падающей кошки; здѣсь можно прослѣдить послѣдовательныя позы, которыя она принимаетъ во время паденія, чтобы твердо стать на ноги.



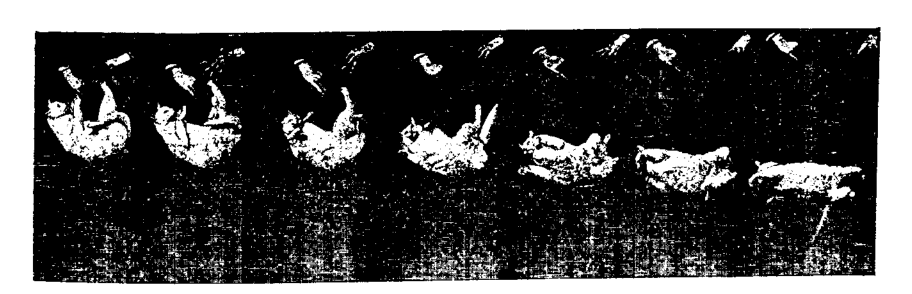
302.

Если съ движущихся предметовъ сдѣлать много моментальныхъ снимковъ чрезъ короткіе по возможности промежутки времени и потомъ, напр. съ помощью проекціоннаго фонаря, отбрасывать эти снимки одинъ за другимъ на экранъ, то глазъ нашъ получаетъ впечатлѣніе какъ бы движущихся изображеній. На этомъ основывается кинематографъ или „живая фотографія“.

Нельзя не упомянуть еще о важномъ примѣненіи фотографіи для записыванія хода какихъ-нибудь непрерывно совершающихся измѣненій. Положимъ, надо отмѣтить, какъ измѣняется температура воздуха въ теченіе сутокъ. Берутъ термометръ, въ ртутномъ столбикѣ котораго имѣется узкій перерывъ (пузырекъ), перемѣщающійся вмѣстѣ съ передвиженіемъ ртути. Сквозь перерывъ направляютъ лучъ свѣта въ фотографическій аппаратъ. Въ послѣднемъ находится свѣточувствительная бумага, которая — помощью заводного механизма — равномѣрно движется по горизонтальному направленію (предполагаемъ термометръ помѣщеннымъ вертикально). Фотографическая бумага почернѣетъ въ тѣхъ мѣстахъ, по которымъ пройдетъ свѣтовое изображеніе перерыва, и на ней останется слѣдъ въ видѣ кривой линіи, наглядно изображающей ходъ температуры въ теченіе требуемаго промежутка времени.



303.





304.

Наконецъ изготовленіе по фотографическимъ снимкамъ типографскихъ клише чрезвычайно удешевило иллюстрированіе изданій хорошими рисунками и картами (фототипія) и сдѣлало болѣе доступными точныя копіи съ художественныхъ произведеній. Въ послѣднемъ отношеніи многаго еще можно ожидать отъ „цвѣтной фотографіи“, дѣлающей пока только свои первые шаги.

Нѣкоторые особые случаи свѣченія, вызываемые поглощеніемъ лучей.

382. Извѣстно много тѣлъ, которыя подъ дѣйствіемъ лучей становятся временно самосвѣтящимися, не будучи накалены. Если напр. лучи солнца или электрическаго фонаря собрать помощью чечевицы и направить въ растворъ сѣрнокислаго хинина (извѣстное противолихорадочное средство), то растворъ—самъ по себѣ безцвѣтный—начинаетъ свѣтиться превосходнымъ голубымъ свѣ-

т о м ъ. Растворъ вещества, называемаго э с к у л и н о м ъ, также издаетъ голубой свѣтъ подъ дѣйствіемъ лучей этихъ источниковъ (или горящаго магнія).

Стекло, окрашенное въ желтоватый цвѣтъ окисью урана—такъ наз. у р а н о в о е с т е к л о—свѣтится при тѣхъ же условіяхъ красивымъ м а т о в о - з е л е н ы м ъ свѣтомъ.

Лучи, возбуждающіе свѣченіе въ тѣлѣ, п о г л о щ а ю т с я послѣднимъ, и на ихъ счетъ тѣло временно дѣлается источникомъ лучей д р у г о г о ц в ѣ т а—обыкновенно лучей менѣе преломляющихся, нежели тѣ, которые служатъ возбудителемъ. Поглощеніе напр. хорошо замѣтно, если кубъ изъ урановаго стекла держать на пути лучей солнца или электрическаго фонаря, прошедшихъ чрезъ призму и образовавшихъ спектръ на экранѣ. Въ красной, оранжевой и желтой частяхъ спектра не происходитъ ничего особеннаго: кубъ хорошо пропускаетъ лучи и самъ представляется окрашеннымъ въ соотвѣтственный цвѣтъ, какъ будто былъ сдѣланъ изъ обыкновеннаго безцвѣтнаго стекла. Въ синей и фіолетовой частяхъ спектра, напротивъ, кубъ становится непрозрачнымъ — даетъ черную тѣнь — и т о г д а с в ѣ т и т с я з е л е н ы м ъ с в ѣ т о м ъ. Свѣченіе урановаго стекла возбуждается здѣсь синими и фіолетовыми лучами, которые поглощаются этимъ стекломъ. Можно вызвать зеленое свѣченіе урановаго стекла также освѣщеніемъ его лучами сильной лампы, пропущенными сквозь синее стекло; вмѣстѣ съ тѣмъ видно, что въ такихъ лучахъ урановое стекло даетъ на экранѣ (на стѣнѣ) темную тѣнь [1].

Свѣченіе подобнаго рода называется ф л у о р е с ц е н ц і е й. Сперва можно было бы подумать, что оно ничѣмъ особеннымъ не отличается отъ тѣхъ явленій, которыми вообще обусловливается цвѣтность тѣлъ (§§ 340—342). „Цвѣтное“ тѣло тоже поглощаетъ нѣкоторые изъ спектральныхъ лучей и тоже посылаетъ нѣкоторые лучи глазу. Но различіе здѣсь существенное. „Цвѣтное“ въ обычномъ смыслѣ тѣло не свѣтится самостоятельнымъ свѣтомъ, а лишь нѣкоторыми лучами освѣщающаго его источника: оно посылаетъ изъ послѣднихъ глазу то, что остается за вычетомъ поглощенныхъ лучей. Если въ освѣщающихъ лучахъ вовсе нѣтъ напр. зеленыхъ, то тѣло и не пошлетъ нашему глазу зеленаго свѣта. Между тѣмъ урановое стекло свѣтится зеленымъ свѣтомъ при освѣщеніи синими и фіолетовыми лучами. Ниже мы встрѣтимся еще съ одною особенностью, очень характерною для флуоресцирующихъ веществъ.

[1] Кромѣ урановаго стекла (обыкновенно — куба), изготовляемаго для физическихъ кабинетовъ, иногда можно найти въ торговлѣ вещицы изъ такого же стекла, которыя тоже годятся для упомянутыхъ выше опытовъ.

Лучи, прошедшіе чрезъ достаточно толстый слой флуоресцирующаго вещества, лишаются способности возбуждать флуоресценцію въ томъ же веществѣ. Напр. кубъ изъ урановаго стекла, превосходно флуоресцирующій въ синихъ лучахъ съ той стороны, которая обращена къ свѣтовому источнику, на нѣкоторой глубинѣ уже не показываетъ этого своеобразнаго свѣченія. Отсюда еще разъ слѣдуетъ, что флуоресценція возникаетъ именно насчетъ п о г л о щ е н н ы х ъ лучей,—какъ бы путемъ нѣкоторой переработки ихъ внутри тѣла.

Способность флуоресцировать замѣчена у множества тѣлъ. Изъ числа наиболѣе обыкновенныхъ можно назвать бѣлую бумагу, кость, пробку, рогъ, дерево, кожу руки, бѣлыя раковины и почти всѣ сорта безцвѣтнаго стекла. Но большею частью свѣченіе настолько слабо, что требуетъ особенныхъ пріемовъ наблюденія.

383. С в ѣ ч е н і е м о ж е т ъ д л и т ь с я н ѣ к о т о р о е в р е м я и послѣ того, какъ дѣйствіе вызвавшей его причины прекратилось; тогда оно называется ф о с ф о р е с ц е н ц і е й (по внѣшности явленіе именно похоже на свѣченіе фосфора въ темнотѣ, хотя причина послѣдняго другая — медленное окисленіе). Изъ веществъ, хорошо и долго фосфорескрующихъ, можно назвать химическія соединенія с ѣ р ы съ металлами к а л ь ц і е м ъ, с т р о н ц і е м ъ и б а р і е м ъ (кальцій — существенная составная часть всѣхъ известняковъ). Покрывъ кусокъ папки продажнымъ б а л ь м а н и н о м ъ (для этого намазываютъ папку смѣсью его съ д а м м а р о в ы м ъ л а к о м ъ и даютъ хорошо высохнуть), полумчаютъ поверхность, которая долго (нѣсколько часовъ) свѣтится въ темнотѣ сине-фіолетовымъ цвѣтомъ послѣ освѣщенія ея солнцемъ, свѣтомъ электрическаго фонаря или горящаго

магнія. Если во время освѣщенія наложить на поверхность руку, то потомъ въ темнотѣ получается черный отпечатокъ руки на свѣтломъ фонѣ [1].—Цвѣтъ фосфоресценціи бываетъ различенъ, смотря по химическому составу и способу приготовленія вещества. — Въ продажѣ иногда встрѣчаются вещицы (спичечницы, розетки подсвѣчниковъ, открытыя письма и пр.), покрытыя фосфоресцирующимъ веществомъ: онѣ хорошо свѣтятся въ темнотѣ, если подержать ихъ на солнцѣ, на разсѣянномъ дневномъ свѣтѣ или освѣтить магніемъ.

Въ явленіяхъ фосфоресценціи и флуоресценціи мы имѣемъ любопытные примѣры „холодныхъ" источниковъ свѣта, о которыхъ упоминалось выше, въ § 261.

О невидимыхъ лучахъ.

384. Изъ предыдущаго выходитъ, что прослѣживать ходъ лучей можно разными способами и помимо впечатлѣнія, производимаго ими на нашъ глазъ. Термометръ и, когда нужно, другіе болѣе чувствительные указатели температуры дали бы намъ полную возможность (хотя и съ бóльшими трудностями, чѣмъ прямо глазомъ) составить себѣ понятіе о „лучахъ". Этимъ путемъ мы пришли бы къ тѣмъ же законамъ распространенія, отраженія и преломленія, какъ и основываясь на производимыхъ лучами свѣтовыхъ впечатлѣніяхъ. Слѣдовательно самые лучи не надо представлять себѣ какъ „свѣтъ" или „тепло": называя ихъ свѣтовыми или тепловыми, мы въ сущности обозначаемъ лишь тѣ дѣйствія лучей, которыя интересуютъ насъ въ томъ или другомъ случаѣ.

Но затѣмъ и химическія дѣйствія, если угодно, могутъ служить для изученія законовъ распространенія, отраженія и преломленія лучей. Если бы мы стали изучать лучи только со стороны ихъ химическихъ дѣйствій, то мы могли бы назвать ихъ „химическими" — съ тѣмъ же правомъ, какъ называемъ лучи свѣтовыми или тепловыми.

[1] Приготовленная такимъ образомъ поверхность сохраняетъ многіе годы способность фосфоресцировать нѣкоторое время послѣ освѣщенія: надо только предохранять ее отъ сырости.

385. Передатчикомъ свѣтовыхъ, тепловыхъ, химическихъ (и еще другихъ) дѣйствій на разстояніи считается упомянутый выше (§ 265) міровой эфиръ. Поглощая или задерживая эфирныя колебанія (волны), тѣла болѣе или менѣе нагрѣваются или на ряду съ нагрѣваніемъ испытываютъ и химическія измѣненія. Въ насъ волны эфира могутъ вызывать ощущенія и свѣта, и тепла, смотря по тому, на какой органъ чувствъ онѣ дѣйствуютъ. Такъ точно воздушныя колебанія, возбуждаемыя органною трубою, являются звукомъ только для органа слуха, а поверхностью нашей кожи — если они достаточно сильны — осязаются какъ тонкое прикосновеніе (какъ родъ щекотки).

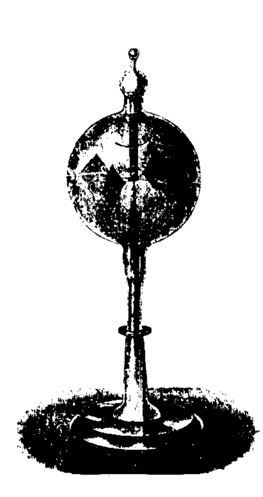
И подобно тому, какъ слишкомъ медленныя и слишкомъ быстрыя колебанія воздуха не производятъ въ насъ звукового впечатлѣнія, такъ точно извѣстны эфирныя колебанія, не воспринимаемыя глазомъ какъ свѣтъ, другими словами — невидимые или темные лучи. Распространеніе, отраженіе и преломленіе этихъ эфирныхъ колебаній или волнъ, какъ доказано опытами, происходитъ по тѣмъ же законамъ, что и для видимыхъ лучей; они въ бóльшей или меньшей степени поглощаются тѣлами, нагрѣвая ихъ или производя въ нихъ химическія измѣненія; но они не возбуждаютъ нервной ткани (сѣтчатки) нашего глаза.

386. Мы уже знаемъ, что преломленіе свѣта, напр. солнечнаго, въ трехгранной призмѣ производитъ какъ бы разъединеніе свѣтовыхъ дѣйствій или, какъ говорятъ, разложеніе свѣта на лучи разныхъ цвѣтовъ, различной преломляемости. Наблюденіе показываетъ, что солнечный спектръ не ограничивается только видимою цвѣтной полосою, а распространяется на значительное пространство какъ за красный, такъ и за фіолетовый концы ея. Такимъ образомъ призма дѣйствительно обнаруживаетъ существованіе лучей менѣе преломляющихся (въ веществѣ призмы), чѣмъ красные, и болѣе преломляющихся, чѣмъ фіолетовые. Эти лучи

называются **за-красными** или **инфракрасными** и **за-фіолетовыми** или **ультрафіолетовыми лучами**.

Какія дѣйствія служатъ для изученія темныхъ лучей спектра? Во-первыхъ **тепловыя**: невидимые лучи, какъ и видимые, въ разной степени поглощаются тѣлами и тогда нагрѣваютъ ихъ. Наиболѣе полное поглощеніе тѣхъ и другихъ свойственно **сажѣ**, а потому указатели тепла, подвергаемые дѣйствію изслѣдуемымъ лучей, предварительно покрываются копотью.

На сильномъ поглощеніи инфракрасныхъ лучей зачерненною поверхностью основано дѣйствіе любопытнаго приборчика, изображеннаго на рис. 305 (**радіометра Крукса**). Тонкія слюдяныя крылышки, зачерненныя съ одной стороны, могутъ съ очень малымъ треніемъ вращаться около вертикальной оси въ сосудѣ, содержащемъ сильно разрѣженный воздухъ. Если освѣтить ихъ солнечнымъ свѣтомъ (даже хорошимъ разсѣяннымъ), поднести пламя свѣчи, **сосудъ съ горячей водой или теплую руку**, то крылышки начинаютъ **вертѣться**, и именно незачерненною стороною впередъ. Несомнѣнно, что зачерненныя поверхности, поглощая больше лучей, нагрѣваются значительнѣе, чѣмъ незачерненныя. Слѣдовательно долженъ значительнѣе нагрѣваться и слой воздуха, соприкасающійся съ первыми, а это, согласно молекулярному ученію (§ 219, 220), значитъ, что скорость движенія газовыхъ частицъ съ зачерненной стороны становится больше, нежели съ другой. Болѣе сильные удары частицъ о первую и являются, по этому взгляду, причиною вращенія крылышекъ.



305.

Во-вторыхъ—**химическія**: фотографическая пластинка напр. въ особенности пригодна для обнаруженія за-фіолетовыхъ лучей, которые, поглощаясь серебряными солями, разлагаютъ ихъ—выдѣляютъ серебро. Прибавка къ серебрянымъ солямъ нѣкоторыхъ веществъ, способныхъ **поглощать за-красные лучи**, сообщаетъ фотографической пластинкѣ воспріимчивость и къ этимъ лучамъ. Такимъ способомъ удалось сфотографировать спектръ какъ въ видимыхъ, такъ и въ невидимыхъ его частяхъ.

Въ третьихъ—тѣ особенныя явленія свѣченія тѣлъ, примѣры которыхъ приведены были выше подъ названіемъ **флуоресценціи и фосфоресценціи**. Многія вещества именно обнаруживаютъ такое свѣченіе, **будучи подвергнуты дѣйствію невидимыхъ за-фіолетовыхъ** лучей, напр. урановое стекло свѣтится зеленымъ свѣтомъ, растворъ сѣрнокислаго хинина — голубымъ и пр. Напротивъ, за-красные лучи уничтожаютъ или гасятъ свѣтъ пластинки, уже фосфоресцирующей вслѣдствіе предварительнаго освѣщенія.

Такъ какъ **стекло въ значительной мѣрѣ поглощаетъ невидимые лучи** спектра, то для ихъ изслѣдованія употребляются призмы и оптическія стекла изъ другихъ прозрачныхъ матеріаловъ, напр. изъ **горнаго хрусталя**, гораздо болѣе прозрачнаго для за-фіолетовыхъ лучей, и **каменной соли**, которая весьма прозрачна для свѣтлыхъ и темныхъ лучей [1].

387. Различныя вещества въ очень различной степени поглощаютъ лучи разнаго рода и слѣдовательно будутъ сильно отличаться между собою по **степени прозрачности** для разныхъ лучей. Многія тѣла очень прозрачныя въ обычномъ смыслѣ слова, т. е. хорошо пропускающія видимые лучи, оказываются весьма мало прозрачными или совсѣмъ непрозрачными для за-красныхъ лучей. Напримѣръ стекло и вода пропускаютъ очень мало такихъ лучей. Большая прозрачность стекла для видимыхъ лучей и гораздо меньшая для невидимыхъ за-красныхъ находитъ всѣмъ извѣстное примѣненіе въ **парникахъ**: ихъ стекла, свободно пропуская свѣтлую часть солнечныхъ лучей, задерживаютъ темные лучи, испускаемые нагрѣтой почвой.—Нижнія части земной атмосферы, богатыя водяными парами, дѣйствуютъ сходнымъ образомъ, такъ какъ онѣ значительно менѣе прозрачны для испускаемыхъ землею темныхъ лучей, нежели для свѣтлыхъ солнечныхъ.

Наоборотъ, есть тѣла, почти непрозрачныя для свѣтовыхъ лучей и однако же весьма прозрачныя для лучей темныхъ. Сюда относится напр. **роговой каучукъ** (эбонитъ). Но

[1] Надо замѣтить еще, что можно получать для изслѣдованія спектръ и не пропуская свѣта сквозь призму—совсѣмъ инымъ способомъ.

особенно интересны опыты, которые можно сдѣлать съ растворомъ іода въ жидкости, называемой сѣроуглеродомъ. Такой растворъ — при достаточной толщинѣ слоя — совершенно поглощаетъ свѣтлые лучи, но очень хорошо пропускаетъ темные; если наполнить растворомъ полую внутри чечевицу (шарообразную колбу) и направить на нее пучокъ лучей солнца или электрическаго фонаря, то въ совершенно невидимомъ фокусѣ лучей можно будетъ зажечь спички или раскалить проволоку.

Темные за-фіолетовые лучи поглощаются многими тѣлами, очень прозрачными въ обычномъ смыслѣ. Такъ они сильно поглощаются стекломъ. Воздухъ тоже задерживаетъ значительное количество за-фіолетовыхъ лучей.

Серебро прозрачно для за-фіолетовыхъ лучей въ очень тонкомъ слоѣ — однако еще достаточно толстомъ, чтобы не пропускать видимыхъ лучей, не „просвѣчивать". Пользуясь сильнымъ химическимъ дѣйствіемъ за-фіолетовыхъ лучей на серебряныя соли, можно напр. получать изображенія на фотографической пластинкѣ подъ дѣйствіемъ невидимыхъ лучей, прошедшихъ сквозь непрозрачный для свѣта слой серебра.

388. Разные источники сильно отличаются между собою по свойствамъ испускаемыхъ ими лучей. Очень важное значеніе имѣетъ здѣсь температура источника. Пока температура тѣла не довольно высока, оно испускаетъ преимущественно темные за-красные лучи (ощущеніе тѣла рукою, которую держать около самовара или утюга [1]). При температурѣ около 500° Ц. излученіе видимыхъ лучей становится уже настолько сильнымъ, что тѣло является для насъ „свѣтящимъ" (темно-красное каленіе). Съ дальнѣйшемъ повышеніемъ температуры становятся мало-по-малу видимыми лучи и остальныхъ частей спектра. Около 1200° Ц. совокупность испускаемыхъ тѣломъ лучей производитъ на глазъ впечатлѣніе „бѣлаго" цвѣта (бѣлокалильный жаръ); при этомъ и невидимые за-фіолетовые лучи достигаютъ значительной напряженности. При еще болѣе высокой температурѣ, съ усиленіемъ всего лучеиспусканія, область доступнаго наблюденію спектра еще расширяется. Чрезвычайно высокая температура солнца обусловливала бы гораздо большее богатство солнечнаго спектра ультрафіолетовыми лучами, если бы значительное количество послѣднихъ не задерживалось земной атмосферою.

[1] О темномъ излученіи тѣлъ ненагрѣтыхъ до самосвѣченія и при низкихъ температурахъ будетъ еще сказано въ отдѣлѣ о тепловыхъ явленіяхъ.

Но затѣмъ составъ испускаемыхъ лучей зависитъ и отъ рода излучающаго вещества—какъ по отношенію къ видимымъ лучамъ (различная цвѣтность свѣтовыхъ источниковъ, гл. XIX), такъ и невидимымъ. Горящій магній испускаетъ напр. много за-фіолетовыхъ лучей; связанное съ этимъ сильное дѣйствіе на фотографическую пластинку даетъ возможность дѣлать моментальные снимки съ предметовъ, освѣщаемыхъ магніевой вспышкою.

Приведенные выше немногіе примѣры показываютъ намъ, какъ сильно область нашего знанія о лучахъ расширяется пріемами физическаго изслѣдованія. Глазу нашему непосредственно доступна лишь очень небольшая часть всѣхъ извѣстныхъ нынѣ лучей спектра.

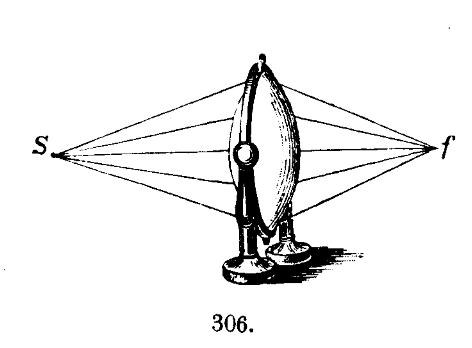
Сравненіе нѣкоторыхъ явленій свѣта и звука; эфирныя волны.

389. Какъ ни различны между собою свѣтовыя и звуковыя ощущенія, мы находимъ съ физической стороны въ нѣкоторыхъ явленіяхъ свѣта и звука замѣчательныя сходства.

Мы „видимъ" и „слышимъ" на разстояніи, безъ того, чтобы органы зрѣнія или слуха непосредственно касались свѣтящаго или звучащаго предмета. Мы можемъ „заслониться" отъ свѣта и—менѣе совершенно—отъ звука. Звукъ и свѣтъ воспринимаются нами не въ самый моментъ ихъ возникновенія, а нѣсколько позже, въ зависимости отъ разстоянія, — хотя для свѣта это было гораздо труднѣе обнаружить, чѣмъ для звука. Въ обоихъ случаяхъ нѣчто какъ бы „распространяется" или „движется" отъ звучащаго или свѣтящаго тѣла. Скорость этого движенія вообще различна въ различныхъ срединахъ. На границѣ двухъ разнородныхъ срединъ, вообще говоря, часть звука или свѣта отражается, — и по одному и тому же закону, — а другая продолжаетъ свой путь, но обыкновенно уже въ измѣненномъ на-

правленіи,—преломляется [1]). Разныя средины различнымъ образомъ поглощаютъ звуковыя волны; то же можно сказать и о свѣтовыхъ лучахъ. Въ обоихъ случаяхъ поглощенная часть обыкновенно преобразовывается въ теплоту.

Уже этотъ рядъ сравненій способенъ навести на мысль, что въ физической причинѣ звуковыхъ и свѣтовыхъ (лучистыхъ) явленій должно существовать какое-то сходство,—что распространеніе „лучей“ должно въ чемъ то походить на распространеніе звуковыхъ волнъ и совершаться при посредствѣ нѣкоторой среды; но эта среда конечно должна отличаться отъ извѣстныхъ намъ главныхъ видовъ обыкновеннаго вещества, такъ какъ „лучи“ распространяются и чрезъ „пустоту“, т. е. пространство, въ которомъ нѣтъ какихъ либо твердыхъ, жидкихъ или газообразныхъ тѣлъ.



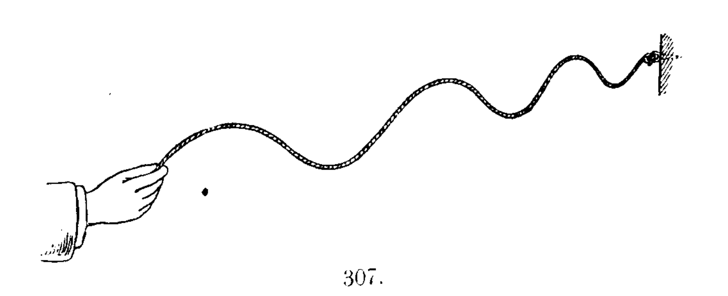
306.

390. Есть явленія, которыя позволяютъ провести аналогію между звукомъ и свѣтомъ еще дальше, и которыя почти съ очевидною ясностью обнаруживаютъ волнообразный характеръ распространенія того и другого. Мы ихъ вовсе не касались раньше. Проще всего обратиться сперва къ примѣру водяныхъ волнъ.

Когда одинъ рядъ волнъ налагается или набѣгаетъ на другой, то волненіе не непремѣнно усиливается, какъ можетъ быть нѣкоторые думаютъ; бываетъ и наоборотъ: волны почти совсѣмъ утихаютъ. Это легко понять, если имѣть въ виду, что водяныя частицы, послѣдовательно захватываемыя волною, начинаютъ двигаться вверхъ и внизъ. Хотя онѣ въ дѣйствительности описываютъ не прямые, а криволинейные пути, но для пониманія результата достаточно представить себѣ волну съ чисто поперечными колебаніями: сюда близко подходятъ напр. тѣ, которые совершаются разными точками привязанной за одинъ конецъ веревки, если колебать ее за свободный конецъ (рис. 307).

[1]) „Разнородными“ по отношенію къ звуку или свѣту называются такія средины, въ которыхъ скорость звука или свѣта различны.—Въ главахъ о звукѣ ничего не говорилось о преломленіи, потому что здѣсь его труднѣе обнаружить опытомъ, чѣмъ въ случаѣ свѣта; притомъ все касающееся „направленія“ гораздо рѣзче и легче выслѣживается на свѣтовыхъ явленіяхъ. Если изъ тонкой перепонки изготовить полое внутри чечевицеобразное тѣло (на манеръ большой двояковыпуклой оптической чечевицы) и наполнить его напр. углекислымъ газомъ, то падающія на него (отъ свистка S) звуковыя волны будутъ довольно явственнымъ образомъ сходиться по ту сторону чечевицы на нѣкоторомъ небольшомъ протяженіи—въ „звуковомъ фокусѣ“ волнъ (рис. 306).

Каждая точка, захватываемая волною, повторяетъ движеніе предыдущихъ; но движеніе извѣстныхъ точекъ въ одинъ и тотъ же моментъ времени прямо противоположно движенію другихъ, взятыхъ на нѣкоторомъ отъ нихъ разстояніи. Положимъ, двѣ водяныхъ волны встрѣчаются (набѣгаютъ другъ на друга) такимъ образомъ, что сообщаютъ частичкѣ воды одновременные толчки въ одну и ту же сторону (это именно будетъ, когда валъ совпадетъ съ валомъ и впадина со впадиной): движеніе частички конечно усилится. Но если, наоборотъ, частица получитъ отъ обѣихъ волнъ толчки противоположные (валъ придется на впадину и впадина на валъ), то ея движеніе ослабѣетъ и можетъ даже свестись къ нулю при толчкахъ прямо противоположныхъ и одинаковой силы (случай конечно исключительный).



307.

Въ звуковой волнѣ, какъ мы знаемъ, частицы движутся впередъ и обратно вдоль распространенія волны, а самая волна состоитъ изъ сжатой и расширенной областей; но и здѣсь частицы, находящіяся одна отъ другой на извѣстномъ разстояніи, движутся въ противоположныхъ направленіяхъ. Если два ряда волнъ наложатся другъ на друга такъ, что сжатіе однѣхъ волнъ совпадутъ со сжатіями другихъ (слѣдов. и разрѣженія съ разрѣженіями), то волны взаимно усилятся; но если сжатія однѣхъ придутся на разрѣженія другихъ, то должно произойти—что именно представляетъ особый интересъ—ослабленіе волнъ, т. е. ослабленіе звука.

Очень любопытный примѣръ этого легко наблюдать, когда одновременно производятся два тона почти одинаковой высоты: тогда можно слышать поперемѣнныя усиленія и ослабленія звука, такъ называемыя біенія. Возьмемъ напр. два одинаковыхъ камертона и приклеимъ къ концу одного изъ нихъ небольшой кусочекъ воска: этимъ мы немного понизимъ его тонъ. Положимъ, что одинъ камертонъ дѣлаетъ 100 колебаній въ то время, какъ другой 101, и что сперва сгущенія и разрѣженія, достигающія до нашего уха отъ обоихъ камертоновъ, совпадаютъ. Послѣ ста колебаній перваго камертона сгущенія и разрѣженія снова совпадутъ, потому что тогда второй опередитъ его на одно полное ко-

лебаніе. Но понятно, что послѣ пятидесяти колебаній перваго произойдетъ какъ разъ обратное, потому что второй успѣетъ сдѣлать 50 колебаній и еще 1/2 слѣдующаго: волны будутъ взаимно ослабляться. Такое же ослабленіе звука произойдетъ послѣ 150 колебаній перваго камертона; послѣ 200 будетъ усиленіе и т. д. Подобныя явленія можно иногда наблюдать на струнныхъ и духовыхъ инструментахъ.

Итакъ звуки, извѣстнымъ образомъ взаимодѣйствующіе, могутъ частью или вполнѣ уничтожаться. Но нѣчто весьма сходное удается произвести и со свѣтомъ: свѣтовые лучи, взаимно налагаясь, могутъ при извѣстныхъ условіяхъ или усилиться, или ослабить другъ друга—до полнаго исчезновенія! Едва ли нужно лучшее доказательство того, что свѣтъ, подобно звуку, производится нѣкоторымъ движеніемъ колебательнаго или періодическаго характера.

391. Если угодно, можно указать здѣсь и еще на одну аналогію. Извѣстно, что когда водяныя волны встрѣчаютъ какую нибудь преграду, онѣ огибаютъ ея края: вода приходитъ въ волненіе и за преградою; только въ случаѣ, если послѣдняя достаточна длинна, нѣкоторая часть водяной поверхности за преградою остается въ покоѣ: волны туда не проникаютъ—происходитъ нѣчто вродѣ „тѣни“ за непрозрачнымъ предметомъ. Огибаніе препятствій наблюдается и со звуковыми волнами: каждый знаетъ, что голосъ говорящаго будетъ слышенъ, хотя и слабѣе, если мы зайдемъ за древесный стволъ или колонну; только ставъ за достаточно длинной толстой стѣною, мы не услышимъ звука (конечно, если онъ не передается замѣтно чрезъ самую стѣну). Выходитъ, что нѣчто подобное должно быть и со свѣтовыми лучами, если мы въ нихъ имѣемъ дѣло съ волнообразнымъ движеніемъ. И дѣйствительно, свѣтовые лучи тоже огибаютъ края встрѣчаемыхъ ими непрозрачныхъ тѣлъ; но только это явленіе можетъ быть хорошо обнаружено при нѣкоторой особенной обстановкѣ, внѣ которой прямолинейность хода лучей не нарушается замѣтнымъ образомъ.

392. Все это, вмѣстѣ взятое, и послужило основаніемъ, на которомъ была воздвигнута—около столѣтія тому назадъ—теорія свѣта, какъ волнообразнаго движенія эфира. По всему, что извѣстно объ эфирныхъ колебаніяхъ, производящихъ ощущеніе свѣта, приходится заключить объ ихъ необычайной быстротѣ или повторяемости, далеко оставляющей за собою повторяемость тѣхъ воздушныхъ колебаній, которыя воспринимаются ухомъ какъ звукъ. Мы встрѣчаемся здѣсь съ числами, громадность которыхъ превышаетъ всякое воображеніе. Красному цвѣту соотвѣтствуетъ повторяемость около 400 билліоновъ въ секунду; число колебаній возрастаетъ отъ краснаго конца спектра къ фіолетовому и для фіолетоваго цвѣта составляетъ около 750 билліо-

новъ въ секунду. Пользуясь выраженіями, взятыми изъ ученія о звукѣ, мы слѣдовательно можемъ сказать, что разные оттѣнки краснаго цвѣта соотвѣтствуютъ самымъ низкимъ тонамъ, а фіолетоваго—самымъ высокимъ, и что колебанія, отвѣчающія лучамъ видимой части спектра, образуютъ интервалъ нѣсколько меньше одной октавы [1]).

Что касается невидимыхъ лучей, то инфракрасные соотвѣтствуютъ болѣе медленнымъ колебаніямъ эфира, чѣмъ красные, а ультрафіолетовые—болѣе быстрымъ, чѣмъ фіолетовые.

Надо замѣтить, что область „лучей“ далеко не ограничивается тѣмъ, что доставляютъ намъ собственно спектральныя изслѣдованія. Она обнимаетъ собою и другія явленія, сближающія между собою разные отдѣлы физики и въ частности—ученія о свѣтѣ и электричествѣ.

---

376. Наша рука ощущаетъ тепло отъ пламени свѣчи какъ по *сторонамъ* пламени, такъ и *надъ* нимъ. Въ чемъ однако разница и какова ея причина?—**378**. Легко замѣтить, что подъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей снѣгъ таетъ преимущественно около прикасающагося къ нему камня и т. п. Чѣмъ объяснить себѣ это?—Отъ какой другой причины, кромѣ атмосфернаго поглощенія, ослабляется тепловое дѣйствіе солнечныхъ лучей на землю, когда солнце близъ горизонта? (См. § 279). Чтобы правильно оцѣнить значеніе именно атмосфернаго поглощенія, какъ надо держать поверхность по отношенію къ падающимъ на нее лучамъ?

---

[1]) Повторяемость „свѣтовыхъ“ колебаній выражается громадными числами,—могущими сперва внушить недовѣріе; но это значитъ только, что для нихъ слишкомъ велика принятая нами единица времени, секунда. Нѣчто подобное—не рѣдкость и въ другихъ случаяхъ. Если бы мы захотѣли выразить въ миллиметрахъ путь, проходимый эфирными волнами въ секунду (300000 километровъ), то получали бы уже 300 милліардовъ. Разстояніе земли отъ солнца (150 милл. километровъ) составило бы 150 билліоновъ миллиметровъ. А разстоянія не очень удаленныхъ отъ насъ звѣздъ выражаются уже числами въ сотни билліоновъ, если принять въ единицу обычные километръ или версту.

XXII.

Тепловыя явленія. О количествѣ теплоты и теплоемкости. Горѣніе и нѣкоторыя механическія взаимодѣйствія, какъ источники теплоты.

Тепловыя явленія; теплота и температура.

393. Ощущенія *тепла и холода* даютъ намъ понятіе о нѣкоторомъ особенномъ состояніи какъ нашего собственнаго тѣла, такъ и тѣхъ предметовъ, къ которымъ мы прикасаемся. Смотря по получаемому ощущенію, мы называемъ одинъ предметъ холоднымъ, другой тепловатымъ, третій теплымъ, четвертый горячимъ и пр. Когда одно и то же тѣло производитъ въ насъ рядъ ощущеній въ названномъ порядкѣ, мы говоримъ, что оно нагрѣвается; если порядокъ ощущеній обратный — тѣло охлаждается. Такъ какъ „холодъ" есть лишь меньшая степень тепла, то ощущенія тепла и холода можно назвать общимъ именемъ „тепловыхъ" ощущеній.

Но вмѣстѣ съ тѣмъ, какъ тѣло становится горячѣе или холоднѣе на ощупь, въ немъ происходятъ различнѣйшія физическія измѣненія. При нагрѣваніи объемъ тѣла обыкновенно увеличивается, а при охлажденіи уменьшается. Достаточно нагрѣтое тѣло переходитъ изъ твердаго состоянія въ жидкое (плавится) и газообразное (испаряется); газъ при надлежащемъ охлажденіи превращается въ жидкое и въ твердое тѣло. Сильно раскаленныя тѣла начинаютъ свѣтиться. Затѣмъ нагрѣваніе можетъ вызвать въ тѣлахъ и *химическія* измѣненія: разложеніе на составныя части или соединеніе съ другими тѣлами (примѣры были выше, въ гл. XI и XII).

Итакъ наши тепловыя ощущенія — лишь *одно изъ многихъ* явленій, относящихся къ разряду тепловыхъ. Эти ощущенія, какъ знаетъ каждый, чрезвычайно важны для нашего существованія; но они играютъ сами по себѣ совершенно ничтожную роль при изученіи тепловыхъ явленій въ физикѣ. Они даютъ намъ свѣдѣнія лишь о *степени нагрѣтости* или *температурѣ* тѣлъ, притомъ свѣдѣнія очень ненадежныя и въ довольно узкихъ границахъ. Болѣе совершенно температура опредѣляется *термометрами* (гл. IX). Но и точнѣйшаго опредѣленія температуры еще не достаточно, чтобы составить себѣ надлежащее понятіе о томъ дѣятелѣ, который называется *теплотою* въ физикѣ. Чтобы намѣтить рядъ представляющихся здѣсь вопросовъ, сдѣлаемъ предварительный обзоръ важнѣйшихъ тепловыхъ явленій.

394. Когда болѣе теплое тѣло, прикасаясь къ другому, менѣе теплому, нагрѣваетъ его, оно само охлаждается. Нагрѣваніе одного тѣла происходитъ въ подобныхъ случаяхъ насчетъ охлажденія другого. *Теплота* есть именно то, что переходитъ, передается, отъ болѣе нагрѣтаго тѣла къ менѣе нагрѣтому, и переходъ теплоты продолжается до тѣхъ поръ, пока оба тѣла не пріобрѣтутъ одинаковой температуры. Натопленная печь согрѣваетъ воздухъ комнаты, т. е. передаетъ ему часть своей теплоты, пока температура печи не сравняется съ температурой комнатнаго воздуха. Ртуть термометра, прикасающагося къ какому нибудь предмету, поднимается или опускается до тѣхъ поръ, пока не приметъ температуры этого предмета: установившійся неподвижно ртутный столбикъ и показываетъ намъ температуру того тѣла (воды въ ваннѣ, воздуха въ комнатѣ, нашего организма), съ которымъ тѣсно и достаточно долго соприкасается термометръ.

Но каждый знаетъ, что нагрѣтое тѣло повыситъ температуру другого тѣмъ значительнѣе, чѣмъ выше его собственная и чѣмъ больше его вѣсъ (количество, масса). Если нѣсколько стакановъ кипятку вылить въ ведро съ комнатной водой, то она нагрѣется больше, чѣмъ отъ одного стакана того же кипятку. Если два куска желѣза, фунтовый и двухфунтовый, были нагрѣты въ кипящей водѣ, т. е. до одной и той же температуры, а потомъ опущены въ одина-

ковыя количества комнатной воды, то отъ двухфунтоваго куска вода конечно нагрѣется больше, чѣмъ отъ фунтоваго. Такимъ образомъ, чѣмъ больше масса взятаго матерьяла, хотя бы и нагрѣтаго до одной и той же температуры, тѣмъ несомнѣнно больше его „тепловой запасъ“, или „количество“ содержащейся въ немъ теплоты, и тѣмъ бо́льшее количество теплоты онъ можетъ отдать соприкающемуся съ нимъ тѣлу.

Для нагрѣванія тѣлъ мы чаще всего приводимъ его въ соприкосновеніе съ пламенемъ, которое получаемъ сжиганіемъ топлива: дровъ, угля, керосина, спирта и пр. Чѣмъ больше масса нагрѣваемаго тѣла и чѣмъ сильнѣе его надо нагрѣть, тѣмъ больше потребуется топлива даннаго сорта, другими словами, тѣмъ бо́льшее „количество теплоты“ пойдетъ для нагрѣванія. Простой житейскій опытъ кромѣ того показываетъ, что, сжигая одинаковыя количества топлива разнаго сорта, можно доставляемою ими теплотою нагрѣть напр. весьма различныя количества воды до одной и той же температуры или одно и то же количество воды до очень различныхъ температуръ. Во всѣхъ этихъ случаяхъ мы опять-таки имѣемъ дѣло съ весьма различными количествами теплоты, сообщаемой пламенемъ нагрѣвающимся тѣламъ.

395*. Наше тѣло, какъ всякое другое, способно воспринимать и отдавать теплоту. Предметы, температура которыхъ выше нашей собственной, будутъ „источниками теплоты“ для нашего организма; напротивъ, по отношенію къ предметамъ болѣе низкой температурѣ наше тѣло является источникомъ теплоты; самые же эти предметы становятся для насъ „источниками холода“. Защищать свое тѣло или жилище отъ холода въ дѣйствительности конечно значитъ принимать мѣры противъ потери теплоты.

Говоря вообще, всякое тѣло будетъ „источникомъ теплоты“ по отношенію къ другому, имѣющему болѣе низкую температуру. Предметъ, который для насъ является холоднымъ, можетъ содержать большой запасъ теплоты и отдавать ее тѣлу еще болѣе холодному. Кусокъ льду при 0° мы назовемъ очень холоднымъ сравнительно съ кипящею водою. Но если возьмемъ тѣло, температура котораго на 100° Ц. ниже

нуля (такое охлажденіе достигается безъ особенныхъ трудностей), то по отношенію къ нему тающій ледъ будетъ столь же „горячъ“, какъ кипятокъ относительно льда.

Солнце, какъ огромное тѣло чрезвычайно высокой температуры (ее считаютъ въ 6—7 тысячъ градусовъ Ц.), конечно является для насъ главнымъ источникомъ теплоты: благодаря ему поддерживаются движеніе и жизнь на всей земной поверхности.

396. Кромѣ явленій перехода или передачи теплоты, мы встрѣчаемся еще съ рядомъ другихъ, при которыхъ несомнѣнно возникаютъ новые тепловые запасы или исчезаютъ имѣвшіеся на лицо. Къ числу явленій, которыя порождаютъ все новыя и новыя количества теплоты по мѣрѣ ея расходованія на тѣ или другія дѣйствія, относятся главнымъ образомъ процессы химическаго соединенія тѣлъ, въ осбенности горѣніе. Сжиганіе топлива является источникомъ теплоты, согрѣвающей зимою наши жилища, приводящей въ движеніе желѣзнодорожные поѣзда, пароходы и фабричныя машины. Что же касается до развитія теплоты въ другихъ примѣрахъ химическаго соединенія, то объ этомъ упомянуто было выше, въ § 183.

Но теплота возникаетъ и во множествѣ другихъ случаевъ. Такъ при всякомъ треніи, какъ хорошо извѣстно каждому, развивается теплота.

397. Обратимся теперь къ нѣкоторымъ примѣрамъ исчезновенія теплоты. Кусокъ льду, тающій въ комнатѣ, не нагрѣвается выше 0°, какъ бы долго онъ ни лежалъ, хотя къ нему все время несомнѣнно притекаетъ теплота отъ окружающихъ его болѣе теплыхъ предметовъ и комнатнаго воздуха: мы знаемъ напр., что достаточное количество льду замѣтно охлаждаетъ окружающій воздухъ. Если кусокъ льду положить на горячую кухонную плиту или бросить въ огонь, то таяніе ускорится, но самый ледъ все же нисколько не станетъ теплѣе. Когда, вмѣсто уборки снѣга зимою, превращаютъ его въ воду сжиганіемъ дровъ и пр. (въ снѣготаялкахъ),—расходуютъ большія количества топлива, которыя даютъ много теплоты, а между тѣмъ снѣгъ все время сохраняетъ свою нулевую температуру, и происходящая изъ него вода остается очень холодной. Не ясно ли, что превращеніе льда въ воду сопровождается исчезновеніемъ значительныхъ

тепловыхъ запасовъ? Опытъ въ самомъ дѣлѣ показываетъ, что для превращенія напр. пуда льда при 0° въ воду той же температуры пришлось бы сжечь приблизительно столько топлива, сколько его бы пошло для нагрѣванія пуда воды отъ 0° до 80° Ц.

Не менѣе очевидно исчезновеніе большихъ тепловыхъ запасовъ при кипѣніи. Какъ бы силенъ ни былъ жаръ очага, кипящая на немъ вода сохраняетъ (при данномъ атмосферномъ давленіи) одну и ту же температуру, и ту же температуру имѣетъ образующійся изъ нея паръ. Количество теплоты, которая исчезаетъ при превращеніи кипящей воды въ паръ, какъ показываетъ опытъ, еще гораздо больше (почти въ 7 разъ), чѣмъ при образованіи воды изо льда.

Мы ограничиваемся здѣсь бьющими въ глаза примѣрами; на самомъ же дѣлѣ множество явленій тѣснѣйшимъ образомъ связано съ возникновеніемъ или исчезаніемъ теплоты. Можно вообще сказать, что теплота расходуется на производство цѣлаго ряда измѣненій въ тѣлахъ и возникаетъ въ длинномъ ряду другихъ. Великія тепловыя явленія въ атмосферѣ, океанахъ и сушѣ связаны не только съ тепловымъ обмѣномъ, но и съ непрерывнымъ приходо-расходомъ теплоты.

Изъ предшествовавшаго краткаго обзора тепловыхъ явленій достаточно ясно, что физическій смыслъ слова „теплота“ совсѣмъ иной, чѣмъ въ нашей повседневной рѣчи, въ которой мы слишкомъ привыкли слова „тепло“, „теплота“ пріурочивать только къ особаго рода ощущеніямъ.

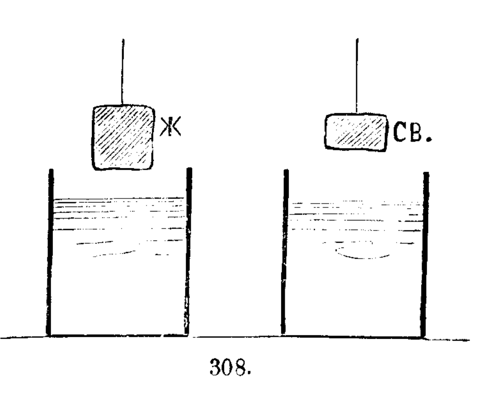
Способы судить о количествѣ теплоты.

398. Разсмотримъ, отъ какихъ обстоятельствъ зависитъ количество теплоты, принимаемой тѣлами при нагрѣваніи или отдаваемой ими при охлажденіи. Тепловой запасъ даннаго количества воды конечно тѣмъ больше, чѣмъ вода теплѣе. Но въ ведрѣ горячей воды запасено гораздо больше теплоты, чѣмъ въ стаканѣ воды той же самой температуры. Если мѣдный пятакъ раскалить до-красна, а мѣдную фунтовую гирю нагрѣть въ кипяткѣ, то хотя температура перваго будетъ гораздо выше, тѣмъ не

менѣе фунтовая гиря нагрѣла бы напр. фунтъ воды комнатной температуры на большее число градусовъ, чѣмъ пятакъ. Тепловой запасъ тѣла очевидно зависитъ и отъ температуры тѣла, и отъ его количества или массы (о которой мы обыкновенно судимъ по вѣсу).

Но при одинаковомъ вѣсѣ и одной и той же температурѣ тепловой запасъ тѣлъ все же можетъ быть очень различенъ: онъ зависитъ еще отъ ихъ вещества. Мы легко можемъ убѣдиться въ этомъ изъ слѣдующаго опыта.

Нагрѣемъ двѣ одинаковыя массы, напр. по 200 гр., желѣза и свинца въ кипящей водѣ (слѣдов. до одной и той же температуры), а затѣмъ быстро опустимъ ихъ въ стаканы, содержащіе по 200 гр. воды, температуру которой предварительно опредѣлимъ (рис. 308). Перемѣшавъ, снова замѣтимъ температуру воды. Окажется, 1) что вода нагрѣлась на очень небольшое число градусовъ сравнительно съ тѣмъ, насколько охладились одинаковыя съ нею массы металловъ, 2) что желѣзо нагрѣло воду на бóльшее число градусовъ, чѣмъ свинецъ. Если бы мы повторили опытъ, взявъ для желѣза въ $3^1/_2$ раза больше воды, чѣмъ для свинца, то нашли бы, что вода въ обоихъ стаканахъ нагрѣлась почти на одно и то же число градусовъ. Одинаковыя массы желѣза и свинца, охлаждаясь, сообщаютъ водѣ весьма различныя количества теплоты: желѣзо слишкомъ въ $3^1/_2$ раза больше, чѣмъ свинецъ. Для нагрѣванія на одно и то же число градусовъ, фунтъ или килограммъ желѣза потребуетъ также слишкомъ въ $3^1/_2$ раза больше теплоты, чѣмъ фунтъ или килограммъ свинца. Что касается воды, то, какъ видно изъ нашего опыта, она требуетъ для нагрѣванія гораздо больше теплоты, чѣмъ каждый изъ взятыхъ нами металловъ. (Изъ чего именно это слѣдуетъ)?



308.

Эти различія можно было бы наблюдать и иначе, напри-

мѣръ, приводя равныя и одинаково нагрѣтыя массы воды, желѣза и свинца въ соприкосновеніе со льдомъ при 0° и опредѣляя количество расплавленнаго льду: въ случаѣ желѣза оно оказалось бы слишкомъ въ $3^1/_2$ раза больше, чѣмъ въ случаѣ свинца, а вода расплавила бы почти въ 9 разъ больше льду, чѣмъ желѣзо.

399. Мы не можемъ исчерпать всей теплоты тѣла, потому что, охлаждая его все больше и больше, не можемъ достичь температуры, которой нельзя было бы еще понизить (по крайней мѣрѣ до сихъ поръ не найдено такой границы). Поэтому мы не въ состояніи опредѣлить, какъ великъ весь тепловой запасъ тѣла (подобно тому, какъ невозможно было бы знать всего количества воды въ „бездонномъ“ бассейнѣ). Мы можемъ лишь судить о тѣхъ количествахъ теплоты, которыя переходятъ изъ однихъ тѣлъ въ другія,—судить о „приходо-расходѣ“ теплоты. Для этого служатъ извѣстныя дѣйствія теплоты. Изъ нихъ мы прежде всего назовемъ слѣдующія:

1) Нагрѣваніе тѣлъ, главнымъ образомъ воды. Чѣмъ больше воды было взято и чѣмъ значительнѣе повысилась ея температура, тѣмъ конечно большее количество теплоты было ей сообщено.

2) Измѣненіе состоянія тѣлъ, преимущественно переходъ льда въ воду и воды въ паръ при кипѣніи. Теплота, сообщаемая льду или водѣ въ этихъ случаяхъ, не нагрѣваетъ ихъ, а производитъ иное дѣйствіе: ослабляетъ взаимную связь частицъ, дѣлаетъ ихъ болѣе подвижными; при переходѣ въ паръ кромѣ того вообще сильно увеличивается объемъ тѣла. Количество исчезающей при этомъ теплоты тѣмъ больше, чѣмъ больше расплавлено льда или выкипячено воды.

Въ разныхъ случаяхъ количество теплоты можно оцѣнивать и другими способами. Напр. двойное количество даннаго горючаго матерьяла конечно доставитъ намъ и двойное количество теплоты. О количествѣ отдаваемой тѣломъ теплоты нерѣдко можно еще судить по продолжительности его охлажденія. Въ случаѣ равномѣрнаго притока теплоты извнѣ, о бóльшемъ или меньшемъ количествѣ теплоты можно заключить по времени, въ теченіе котораго длилось нагрѣваніе. И т. п.

Затѣмъ для измѣренія количествъ теплоты необходимо условиться въ выборѣ единицы. Всякая величина измѣряется однородной съ нею величиной: длина длиною, площадь—площадью, вѣсъ—вѣсомъ; такъ точно и для измѣренія количества теплоты всякое достаточно постоянное количество теплоты можно принять за „тепловую единицу“.

Единица теплоты.

400*. Пусть одинъ разъ 12 фунт. воды были нагрѣты отъ 15° до 20° Р., т. е. на 5°, въ другой разъ—5 фунтовъ воды отъ 15° до 27°, т. е. на 12° Р. Сравнимъ между собою количества теплоты, пошедшей въ томъ и другомъ случаѣ на нагрѣваніе. Предположимъ, что для повышенія температуры 1 ф. воды на каждый градусъ нужно одно и то же количество теплоты (что весьма близко къ дѣйствительности) и примемъ условно это количество теплоты за единицу. Очевидно, что для нагрѣванія 12 ф. воды на 1° Р. потребуется 12 такихъ единицъ, а для нагрѣванія 12 ф. на 5° Р.— въ 5 разъ больше, т. е. 60 единицъ. Точно также найдемъ, что для повышенія температуры 5 ф. воды на 12° Р. потребуется 5×12, т. е. тѣ же 60 единицъ. Итакъ обѣ тепловыхъ затраты одинаковы. Слѣдовательно, если бы напр. мы смѣшали 12 ф. воды, имѣющей температуру 5° Р., или же 5 ф. воды при температурѣ 12 Р.—со льдомъ при 0°, то теплотой, отданной водою льду, было бы въ обоихъ случаяхъ растоплено одинаковое количество льду. Для нагрѣванія 12 ф. воды на 5° и 5 фунтовъ воды на 12° потребовалось бы одинаковое количество опредѣленнаго горючаго матерьяла (вѣрнѣе — приблизительно одинаковое, потому что потеря теплоты наружу тѣмъ значительнѣе, чѣмъ выше температура тѣла).

Итакъ, принявъ нѣкоторое количество теплоты за единицу, можно измѣрять расходъ или приходъ теплоты. Сообразуясь съ метрической системой мѣръ, мы примемъ за тепловую единицу то количество теплоты, которое способно нагрѣть килограммъ воды на 1° Ц. [1]. Вы-

[1] Т. е. повысить ея температуру съ 0° до 1° или съ 1° до 2° или съ 10° до 11° и т. д. Не слѣдуетъ смѣшивать выраженій: „нагрѣть *на*

бранная нами единица количества теплоты называется большой калоріей, а единица въ тысячу разъ меньшая, т. е. количество теплоты, нагрѣвающее 1 граммъ воды на 1° Ц., — малой калоріей. Чтобы найти, сколько большихъ (или малыхъ) калорій нужно для нагрѣванія воды, стóитъ лишь число килограммовъ (или граммовъ) воды умножить на повышеніе температуры въ градусахъ Ц.

Въ случаѣ охлажденія воды, т. е. при отнятіи теплоты (напр. другимъ, менѣе нагрѣтымъ тѣломъ), мы точно также найдемъ число единицъ отнятой теплоты. Опытъ показываетъ именно, что тѣло, охлаждаясь, отдаетъ то самое количество теплоты, какое ему было сообщено нагрѣваніемъ (на то же число градусовъ).

Примѣры: 1) Чтобы нагрѣть 20 кг. воды отъ 0° до кипѣнія, т. е. до 100° Ц., нужно 100 . 20 = 2000 теплов. единицъ. То же количество воды, охладившись отъ 100° Ц. до комнатной температуры, положимъ 16° по Р., т. е. 20° Ц., отдастъ въ окружающее пространство 20 . (100—20) = 1600 единицъ теплоты.

2) Смѣшано 15 фунт. воды, имѣющей темп. 10° Р., съ 5 фунтами воды при 60° Р. Найти температуру смѣси,— предполагая конечно, что нѣтъ потерь теплоты въ стороны. Рѣш. Примемъ на этотъ случай за 1 то количество теплоты, которое способно нагрѣть фунтъ воды на 1° Р. Затѣмъ представимъ себѣ, что вторая масса воды охлаждена до 10° Р., слѣдов. на 50° Р., и что отданныя ею при этомъ 250 ед. теплоты временно гдѣ либо запасены. Тогда мы будемъ имѣть въ общемъ 20 ф. воды при 10° Р. и 250 тепловыхъ единицъ; распредѣливъ ихъ равномѣрно на 20 ф. воды, найдемъ, что онѣ нагрѣютъ ее на $12^1/_2$° Р. Слѣдов. температура смѣси будетъ $10 + 12^1/_2 = 22^1/_2$° Р. — Другой пріемъ. Если бы обѣ массы воды были охлаждены до 0°, то первая отдала бы 150 ед. теплоты, вторая 300, а всего 450 ед., послѣ чего мы имѣли бы 20 ф. воды при 0°; распредѣливъ между ними 450 ед. теплоты, найдемъ, что вода нагрѣется на

столько-то градусовъ" и „нагрѣть *до* столькихъ-то градусовъ" (въ послѣднемъ случаѣ считаютъ отъ 0°). Если тѣло имѣло температуру 20° и было затѣмъ нагрѣто *на* 15°, то температура его повысилась *до* 35°.

$22^1/_2$° Р. выше 0°, т. е. что темпер. смѣси будетъ $22^1/_2$ Р.— Результаты подобныхъ вычисленій подтверждаются точными опытами.

Обратимся теперь къ расходу и приходу теплоты при измѣненіяхъ температуры тѣлъ, вещественно различающихся между собою.

Различная „теплоемкость" тѣлъ.

401*. Мы видѣли, что количество теплоты, потребное для нагрѣванія одного и того же вѣс. количества разныхъ веществъ, неодинаково. Напр. равныя вѣс. количества воды, желѣза и ртути требуютъ для нагрѣванія на одно и то же число градусовъ весьма различныхъ количествъ теплоты, а именно желѣзо въ 9 разъ, а ртуть въ 30 разъ меньше, чѣмъ вода. Обратно, охлаждаясь на одно и то же число градусовъ, тѣло будетъ отдавать другимъ тѣламъ весьма различныя количества теплоты, смотря по веществу, изъ котораго состоитъ. Напр., если равныя вѣсовыя количества воды, желѣза и ртути, нагрѣтыя до одной и той же температуры, привести въ соприкосновеніе со льдомъ при 0°, то льду будетъ расплавлено во второмъ случаѣ въ 9 разъ, а въ третьемъ въ 30 разъ меньше, чѣмъ въ первомъ. Для обозначенія этихъ различій служитъ слово теплоемкость: мы сказали бы, что теплоемкость воды больше, чѣмъ желѣза, а желѣза—больше, чѣмъ ртути (или свинца, см. опытъ § 398). Опыты, произведенные разными способами, показываютъ, что относительныя количества теплоты, нагрѣвающія равныя массы вещества на одинаковое число градусовъ, выражаются—приблизительно—слѣдующими числами:

Вода 1.

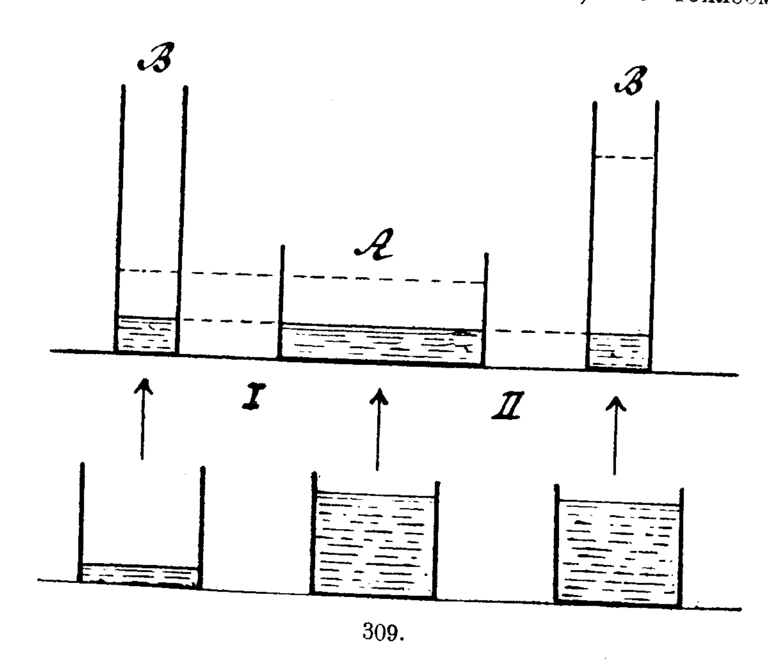
Вин. спиртъ . . .	0,6	или $^3/_5$.	Желѣзо	0,112	или $^1/_9$.
Ледъ	0,5	„ $^1/_2$.	Ртуть	0,033	„ $^1/_{30}$.
Стекло	0,2	„ $^1/_5$.	Свинецъ . . .	0,031	„ $^1/_{32}$.

Другими словами, для нагрѣванія на 1° Ц. одного килограмма спирта требуется $^3/_5$ ед. теплоты, льда $^1/_2$, стекла $^1/_5$ и т. д., причемъ подъ единицею теплоты подразумѣвается то ея количество, которое можетъ нагрѣть 1 кг. воды на 1° Ц.,

т. е. большая калорія. Выражаясь короче, говорятъ, что теплоемкость воды 1, спирта 0,6, льда 0,5, стекла 0,2 и т. д. Изъ нашей таблички можно, наоборотъ, заключить, что сообщеніе единицы теплоты (большой калоріи) повыситъ температуру 1 килограмма воды на 1°, льда на 2°, стекла на 5°, желѣза на 9°, а ртути на 30° по стоградусному термометру.

Обратимъ вниманіе на то, что 1) для нагрѣванія воды требуется больше теплоты, чѣмъ для каждаго изъ поименованныхъ веществъ (и, слѣдуетъ добавить, больше, нежели для любого жидкаго или твердаго тѣла), 2) что вода въ твердомъ состояніи (ледъ) требуетъ для нагрѣванія вдвое меньше теплоты, чѣмъ въ жидкомъ. (Какъ согласить выраженіе „нагрѣвать ледъ“ съ тѣмъ, что мы не знаемъ „теплаго льда“?).

402. Надо замѣтить, что слову „теплоемкость“ можно придавать двоякій смыслъ. Напр., чтобы нагрѣть желѣзную вещь въ 18 килограммовъ на 1° Ц., нужно сообщить ей количество теплоты равное 2 б. калоріямъ; мы скажемъ, что теплоемкость



309.

даннаго желѣзнаго тѣла соотвѣтствуетъ двумъ большимъ калоріямъ, т. е. равняется теплоемкости 2 килограммовъ воды. Теплоемкость желѣзной массы въ 27 кг. будетъ соотвѣтствовать

тремъ б. калоріямъ и т. п.—Изъ двухъ сосудовъ A и B мы называемъ „болѣе емкимъ“ тотъ, въ который надо прилить больше жидкости, чтобы уровень ея одинаково повысился въ обоихъ сосудахъ (рис. 309 I), или въ которомъ одно и то же количество прилитой жидкости произведетъ меньшее повышеніе уровня (II). Такъ точно изъ двухъ тѣлъ называютъ „болѣе теплоемкимъ“ то, для повышенія температуры котораго на одинаковое число градусовъ (напр. на 1°) требуется больше теплоты, или которое отъ одного и того же количества теплоты нагрѣется на меньшее число градусовъ. По отношеніе теплоемкости любой массы тѣла къ теплоемкости такой же массы воды не зависитъ отъ того, сколько взято тѣла, а только отъ свойствъ самаго матерьяла, т. е. отъ того, что взято напр. желѣзо, а не свинецъ, не стекло и т. п. Это отношеніе и принимается за мѣру теплоемкости даннаго вещества или матерьяла, напр. число 0,112 или $^1/_9$ — за мѣру теплоемкости желѣза, желѣзнаго вещества. Раньше (въ § 45) мы уже встрѣчали нѣчто подобное, говоря о „вѣсѣ“ тѣла и объ „относительной плотности“ матерьяла, изъ котораго оно состоитъ.

Теплоемкость нѣсколько измѣняется съ измѣненіемъ температуры тѣла: для нагрѣванія даннаго количества тѣла, напр. воды, отъ 0° до 1°, отъ 1° до 2°, . . . отъ 20° до 21°, . . . отъ 50° до 51° и т. д. требуются не вполнѣ одинаковыя количества теплоты. Эти (малыя) разницы конечно усложняютъ вопросъ объ установкѣ точной тепловой единицы для научныхъ цѣлей и при точномъ измѣреніи количества теплоты.

Аналогія между переходомъ теплоты и перетеканіемъ жидкости.

403. Сравнивая какое нибудь явленіе съ другимъ, болѣе намъ знакомымъ, мы иногда можемъ лучше представить себѣ, какъ происходитъ первое. Пока дѣло касается перехода теплоты изъ одного тѣла въ другое, очень полезно можетъ быть слѣдующее сравненіе. Представимъ себѣ два сосуда съ жидкостью, сообщающихся между собою трубкою. Жидкость будетъ перетекать изъ сосуда съ высшимъ уровнемъ въ сосудъ съ низшимъ, и переходъ будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока уровни не станутъ одинаковыми. То, въ какую сторону потечетъ жидкость, нисколько не зависитъ отъ количества ея въ сосудахъ, а только отъ разности уровней. Затѣмъ каждый хорошо понимаетъ, что насколько количество жидкости убавится въ одномъ сосудѣ, настолько оно увеличится въ другомъ. Но уровни

жидкости въ сосудахъ могутъ перемѣститься весьма различнымъ образомъ: чѣмъ шире сосудъ, чѣмъ больше его „емкость", тѣмъ меньше измѣнится въ немъ уровень противъ прежняго. Переходъ теплоты отъ одного тѣла къ другому очень напоминаетъ собою перетеканіе жидкости. Замѣнивъ слово „жидкость" словомъ „теплота", а „уровень" — „температурою", мы почти буквально можемъ сказать: теплота переходитъ отъ тѣла съ высшей температурой къ тѣлу съ низшей; переходъ этотъ продолжается до тѣхъ поръ, пока температуры не станутъ одинаковыми; онъ нисколько не зависитъ отъ „запаса" или „количества" теплоты въ тѣлахъ, а только отъ разности температуръ; количество теплоты, утраченное однимъ, равно тому, которое пріобрѣтено другимъ; температура же обоихъ тѣлъ можетъ измѣниться на различное число градусовъ—въ зависимости отъ теплоемкости тѣлъ. Наконецъ, какъ нѣкоторый постоянный уровень жидкости (уровень океана) можно принять за нулевой и считать отъ него высоты вверхъ и внизъ, такъ можно принять за 0° нѣкоторую постоянную температуру (тающаго льда) и различать температуры выше 0° („градусы тепла", со знакомъ +) и ниже 0° („градусы холода", со знакомъ —).

Хотя и удобно бываетъ пользоваться указаннымъ здѣсь сходствомъ,—изъ него никоимъ образомъ не слѣдуетъ, чтобы самая теплота была жидкостью (какъ впрочемъ нѣкогда думали). Въ этомъ лучше всего убѣждаетъ рядъ явленій, при которыхъ теплота перестаетъ быть теплотою, — тратится на производство извѣстныхъ измѣненій въ тѣлахъ (напр. при плавленіи, испареніи), и такихъ, гдѣ въ результатѣ извѣстныхъ измѣненій возникаютъ новыя количества теплоты. Къ явленіямъ послѣдняго рода относятся наши обычные источники теплоты — процессы химическаго соединенія, въ особенности горѣніе.

О количествѣ теплоты, развивающейся при химическомъ соединеніи тѣлъ (при горѣніи). Теплота организмовъ.

404*. Развитіе теплоты при химическомъ соединеніи особенно рѣзко въ явленіяхъ горѣнія, гдѣ оно выражается накаливаніемъ и свѣченіемъ тѣлъ. Къ сообщенному о горѣніи въ гл. XI (§§ 183—186) мы добавимъ здѣсь свѣдѣнія о количествѣ теплоты, которое доставляется химическимъ соединеніемъ нѣсколькихъ тѣлъ съ кислородомъ. Въ житейскомъ обиходѣ горѣніе служитъ намъ главнѣйшимъ источникомъ теплоты послѣ солнца, и очень важно умѣть судить о теплопроизводительной способности различныхъ горючихъ матерьяловъ.

Изъ опытовъ найдено напр., что когда 1 фунтъ водороднаго газа сгораетъ въ кислородѣ или воздухѣ, развивается такое количество теплоты, которое могло бы нагрѣть отъ 0° до кипѣнія около 10 ведеръ воды. Количество теплоты, доставляемое 1 фунтомъ угля при полномъ его сгораніи, т. е. съ образованіемъ углекислаго газа, нагрѣло бы слишкомъ $2^1/_2$ ведра воды отъ 0° до кипѣнія. Итакъ теплопроизводительная способность угля примѣрно въ 4 раза меньше, чѣмъ водорода.

405*. Условимся принимать въ качествѣ тепловой единицы большую калорію, т. е. количество теплоты, которое необходимо для нагрѣванія 1 килограмма воды на 1° Ц. (§ 400); тогда можно будетъ слѣдующимъ образомъ выразить—въ округленныхъ числахъ—теплоту соединенія нѣсколькихъ простыхъ тѣлъ съ кислородомъ:

1 килограммъ водорода, образуя 9 кг. жидкой воды, развиваетъ 34000 б. калорій;

1 килограммъ чистаго угля, образуя $3^2/_3$ кг. углекислаго газа, развиваетъ 8000 б. калорій.

Далѣе, одинъ килограммъ

фосфора, сгорая въ кислородѣ,	развиваетъ	6000	б. кал.
сѣры, „ „ „	„	2200	„ „
мѣди, образуя окись мѣди	„	600	„ „
ртути, „ „ ртути	„	150	„ „

Какъ видимъ, числа измѣняются въ очень широкихъ границахъ. Самые опыты производятся въ такихъ условіяхъ, чтобы нѣкоторыя неизбѣжныя потери теплоты чрезъ передачу ея окружающимъ тѣламъ могли быть приняты въ разсчетъ при полученіи окончательнаго вывода.

Вотъ еще нѣсколько примѣровъ, относящихся до наиболѣе употребительныхъ въ практикѣ горючихъ матерьяловъ.

При полномъ сгораніи 1 килограмма

нефти (керосина) развивается	отъ	10000 до 11000	б. кал.
стеарина	„	9500	„ „
угля разн. сортовъ	„ „	4000 до 8000	„ „
виннаго спирта	„	7000	„ „
дерева разн. сортовъ	„ „	4000 до 4500	„ „

Хорошимъ топливомъ конечно долженъ считаться тотъ горючій матерьялъ, который, при сравнительной дешевизнѣ, давалъ бы много теплоты.

Температура, которой можно достичь сжиганіемъ топлива, зависитъ не только отъ его теплопроизводительной способности, но и отъ условій, при которыхъ происходитъ сгораніе. Она будетъ тѣмъ выше, чѣмъ больше топлива сгораетъ въ данное время (въ единицу времени), и чѣмъ меньше потеря теплоты на нагрѣваніе окружающихъ предметовъ. Чтобы ускорить сгораніе, усиливаютъ въ надлежащей мѣрѣ притокъ воздуха (раздуваніе, тяга), а для уменьшенія тепловыхъ потерь окружаютъ сжигаемый матерьялъ тѣлами, медленно передающими теплоту наружу (кирпичная кладка печей); къ уменьшенію тепловыхъ потерь ведетъ и замѣна воздуха кислородомъ, потому что тогда устраняется азотъ, на нагрѣваніе котораго напрасно тратится теплота. На значеніе условій сгоранія было уже обращено вниманіе выше, при разсмотрѣніи процесса горѣнія (§§ 184, 185) и свойствъ пламени (204, 205).

406. Постоянный источникъ теплоты мы имѣемъ еще въ жизни организмовъ, главнымъ образомъ такъ называемыхъ теплокровныхъ животныхъ. (Развитіе теплоты наблюдается также у пресмыкающихся, у рыбъ и у насѣкомыхъ; его не вполнѣ лишены и низшіе животные организмы, и растенія). Причина развитія теплоты внутри тѣла—происходящія въ немъ сложныя химическія явленія, главнымъ образомъ—непрерывный процессъ химическаго соединенія органическаго матерьяла (его углерода и водорода) съ кислородомъ воздуха. Окончательными продуктами этого „окисленія", какъ и при сгораніи углеродистыхъ веществъ, являются углекислый газъ и вода. Такимъ образомъ физическая жизнь организма имѣетъ нѣчто общее съ процессомъ медленнаго горѣнія.

Найдено, что человѣческій организмъ при нормальныхъ условіяхъ работы и отдыха развиваетъ въ сутки, въ среднемъ, около 2500 б. калорій—количество теплоты равное тому, которое могло бы нагрѣть 25 литровъ воды, т. е. около 2 ведеръ, отъ 0° до кипѣнія. При усиленной мышечной работѣ, когда процессы окисленія въ организмѣ идутъ быстрѣе, суточное производство теплоты значительно увеличивается.

Любопытно сравнить тепловую производительность нашего организма съ количествомъ теплоты, доставляемымъ въ тоже время горѣніемъ. Сдѣлать это не трудно, опредѣливъ, сколько горючаго матерьяла расходуется напр. въ часъ, и зная, какое количество теплоты доставляется сжиганіемъ единицы вѣса. Въ часъ сгораетъ около $10^1/_2$ граммовъ стеариновой свѣчи (4 на фунтъ). Такъ какъ каждый граммъ стеарина развиваетъ при сгораніи 9,5 большихъ калорій (см. числовыя данныя для 1 килограмма горючихъ матерьяловъ въ предыдущемъ §), то расходу въ $10^1/_2$ граммовъ соотвѣтствуютъ 100 большихъ калорій,—почти столько же, сколько доставляется въ часъ человѣческимъ организмомъ. — Столовая керосиновая лампа (съ горѣлкою 16‴), при хорошемъ пламени, сжигаетъ въ часъ около 40 гр. керосина, т. е. (если принять 10000 б. кал. на каждый килограммъ сгорѣвшаго керосина) развиваетъ въ это время около 400 б. калорій—вчетверо больше, нежели человѣческій организмъ.

Та или иная температура организма зависитъ, съ одной стороны, отъ количества теплоты, развиваемой имъ въ данное время (въ единицу времени), съ другой—отъ того, сколько теплоты онъ въ то же время теряетъ наружу. Тепловыя потери при разныхъ условіяхъ конечно очень различны; но равновѣсіе между приходомъ и расходомъ теплоты въ извѣстныхъ границахъ поддерживается дѣятельностью здороваго организма, такъ что температура внутри тѣла—въ обычныхъ для даннаго организма условіяхъ—лишь мало колеблется около нѣкоторой средней величины. Средняя внутренняя температура у человѣка около $37^1/_2$° Ц. У птицъ она вообще выше, нежели у млекопитающихъ (у нѣкоторыхъ птицъ она достигаетъ 43° Ц.), а у рыбъ только немногимъ выше температуры окружающей воды.

Развитіе теплоты при треніи, ударѣ, сжатіи.

407*. Обратимся теперь къ такимъ случаямъ возникновенія теплоты, которые, не имѣя для насъ практическаго значенія, какъ источники теплоты, тѣмъ не менѣе играютъ повсюду видную роль и, какъ увидимъ, ведутъ къ очень важнымъ заключеніямъ.

Каждый знаетъ, что при т р е н і и тѣлъ другъ о друга развивается теплота (разгоряченіе металлической пуговицы при треніи о сукно или вязальной спицы о пробку, въ которую она вставлена;—пилы при треніи о дерево; разогрѣваніе колесныхъ осей при быстромъ движеніи, металловъ при обтачиваніи и сверленіи ихъ машинами и пр.). Очень часто можно также наблюдать появленіе теплоты при у д а р ѣ или с ж а т і и. Шляпка гвоздя подъ частыми ударами молотка замѣтно разгорячается. Быстрыми и сильными ударами кузнечнаго молота по куску желѣза удается довести послѣднее до каленія. Свинцовая пуля, выпущенная изъ ружья, при ударѣ о неподвижное препятствіе можетъ расплавиться. Пушечное ядро, ударившись о мишень, можетъ накалиться почти до-красна. При ударѣ о камень лошадиной подковы, оторвавшіяся отъ нея частицы желѣза накаливаются и сгораютъ (припомнимъ также „высѣканіе огня“ о кремень). Если быстро сжать воздухъ въ цилиндрѣ посредствомъ плотно пригнаннаго поршня, то воздухъ нагрѣвается до температуры достаточной для воспламененія нѣкоторыхъ горючихъ матерьяловъ („воздушное огниво“, рис. 310) [1].—Зачастую источниками теплоты бываютъ треніе, ударъ и сжатіе вмѣстѣ. Прекрасный примѣръ мы имѣемъ въ явленіи т. наз. „падающихъ звѣздъ“ или м е т е о р и т о в ъ. Небольшое міровое тѣло (какія во мно-



310.

[1] Если бы вся развивающаяся теплота шла только на нагрѣваніе воздуха, то, какъ показываетъ вычисленіе, сжатіе его въ 10 разъ противъ первоначальнаго объема произвело бы повышеніе температуры (отъ обыкновенной комнатной) болѣе, чѣмъ до 400° Ц., а при сжатіи въ 100 разъ—до 1500° Ц.

жествѣ обращаются вокругъ солнца), влетая съ огромною скоростью—нѣсколькихъ десятковъ верстъ въ секунду — въ земную атмосферу, сильно накаливается и издаетъ яркій свѣтъ. Здѣсь причинами накаливанія являются и ударъ объ атмосферу, и треніе о воздухъ, и его сжатіе [1].

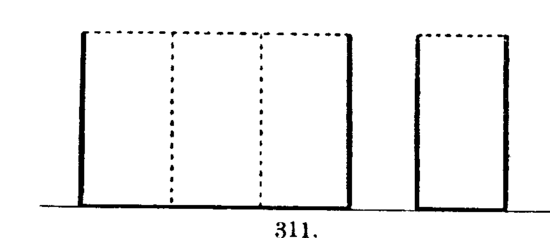
Во всѣхъ приведенныхъ здѣсь случаяхъ, какъ они ни разнообразны съ перваго взгляда, теплота является результатомъ п р е о д о л ѣ н і я д в и ж у щ и м и с я т ѣ л а м и н ѣ к о т о р ы х ъ п р о т и в о д ѣ й с т в і й и л и с о п р о т и в л е н і й, причемъ скорость движенія тѣлъ (если она не поддерживается какъ нибудь со стороны) уменьшается или сводится къ нулю. Въ физикѣ и механикѣ всякое преодолѣваніе сопротивленій называется механической р а б о т о ю. Въ слѣдующей главѣ мы и займемся этимъ въ высшей степени важнымъ понятіемъ и разсмотримъ ближе соотношеніе между работой и теплотой.

395. При какомъ условіи ледъ можетъ быть источникомъ
теплоты? Можетъ ли быть источникомъ теплоты тѣло, имѣющее
температуру — 100°? — **400** [2]. Какая разница въ выраженіяхъ:
„нагрѣть воду на *50 градусовъ*“ и „сообщить водѣ *„50 тепловыхъ
единицъ?“* Что еще надо знать въ первомъ случаѣ, чтобы можно
было опредѣлить ***количество*** сообщенной водѣ теплоты? Что должно
быть дано во второмъ случаѣ для опредѣленія ***числа градусовъ***, на
которые нагрѣется вода?—Сколько тепловыхъ единицъ было со-
общено водѣ, если 1 кг., 5 кг., 10 кг. ея были нагрѣты на 50° Ц.?
На сколько градусовъ нагрѣется вода, если 50 теплов. единицъ
были сообщены 1 килограмму, 2 кг., 5 кг., 10 кг.. 25 кг., 50 ки-
лограммамъ воды? — Какими различными сомножителями можно
представить 80 ед. теплоты, если одинъ изъ нихъ обозначаетъ
число вѣс. единицъ воды, а другой—число градусовъ, на которое
измѣняется ея температура? Сколько килогр. воды и на сколько
градусовъ Ц. будетъ нагрѣто въ разныхъ случаяхъ этимъ коли-
чествомъ теплоты? *Отв.* 80 × 1, 40 × 2 и т. д. — Если 1 ***ведро***

[1] Измѣреніемъ высоты, на которой проносятся метеориты, най-
дено, что она иногда превышаетъ 250 верстъ. Слѣдовательно до этихъ
высотъ еще простирается земная атмосфера; лишь благодаря огромной
скорости метеоритовъ, присутствіе воздуха здѣсь еще замѣтно, не
смотря на крайнюю степень разрѣженія.

[2] Въ нижеслѣдующихъ вопросахъ вездѣ, гдѣ не сдѣлано оговорки, подъ „тепловою единицею“ подразумѣвается *большая калорія*, т. е. количество теплоты, нагрѣвающее 1 кг. воды на 1° Ц.

воды, имѣвшей температуру 100° Ц., утратитъ 1000 един. теплоты, то какова будетъ температура воды? (Ведро считать = $12^1/_2$ литрамъ). *Отв.* 20° Ц.—На плиту, получающую всюду одинаковый притокъ теплоты, поставлены два цилиндрическихъ котла одинаковой высоты, но разной ширины, наполненные водою, слѣдов. содержащіе различное количество воды. Чтобы вода нагрѣлась въ нихъ на одно и то же число градусовъ, нужно ли будетъ одинаковое время или нѣтъ? (Указаніе на отвѣтъ дается рис. 311).—**401.** Если шарики одинаковаго вѣса изъ стекла, желѣза и свинца нагрѣть въ кипяткѣ и положить на достаточно толстую плитку изъ воска, то погрузятся ли шарики, вслѣдствіе подтаиванія воска, одинаково глубоко? Который изъ нихъ расплавитъ всего больше воска? Въ какомъ порядкѣ въ этомъ отношеніи будутъ слѣдовать шарики?—Сколько единицъ теплоты потребуется для нагрѣванія 1 кг. стекла на 5° Ц., килограмма желѣза на 9°, полукилограмма свинца отъ 15° до 75°? *Отв.* По одной большой калоріи. Сколько желѣза, ртути будетъ нагрѣто на 1° тѣмъ количествомъ теплоты, которое способно нагрѣть на 1° фунтъ воды?—Сколько ед. теплоты нужно для нагрѣванія 10 литровъ ртути отъ 0° до 60° Ц.? *Рѣш.* 10 литр. ртути вѣсятъ 10 . 13, 6 кг.; для нагрѣванія 136 кг. *воды* на 60° требуется 136. 60 ед. тепл., а для нагрѣванія ртути—въ 30 разъ меньше, т. е. 136 . 2 = 272 б. калоріи. Если бы вся эта теплота была сообщена 16 килограммамъ воды, то насколько градусовъ повысилась бы температура воды? *Отв.* На 17° Ц. Сколько килограм. воды могло бы быть нагрѣто тѣмъ же количествомъ теплоты отъ 4° до 20°? *Отв.* 17 кг.—Латунная 200-гр. гиря была нагрѣта въ кипящей водѣ и погружена въ 200 гр. воды съ температурою 16° Ц., вслѣдствіе чего вода нагрѣлась до 23° Ц. Считая температуру нагрѣтой гири за 100° Ц. и не принимая въ разсчетъ нѣкоторыхъ неизбѣжныхъ тепловыхъ отдачъ на сторону (м. пр. на нагрѣваніе сосуда), найти *теплоемкость* латуни. *Рѣш.* Гиря охладилась въ водѣ на 100—23 = 77°, и то количество теплоты, которое она при этомъ отдала водѣ, нагрѣло одинаковую массу (200 гр.) воды лишь на 7°. Слѣдов. для нагрѣванія латуни нужно въ 11 разъ (77:7) меньше теплоты, чѣмъ для нагрѣванія воды на одинаковое число градусовъ; другими словами, теплоемкость латуни $^1/_{11}$ или около 0,09.—**404, 405.** Указать примѣры развитія теплоты при химическомъ соединеніи тѣлъ. (См. гл. XI и XII). Какою особенностью отличаются обыкновенные случаи *горѣнія* отъ другихъ процессовъ соединенія тѣлъ съ кислородомъ, которые вообще также сопровождаются развитіемъ теплоты? — Почему уголь, будучи раскаленъ, при достаточномъ притокѣ воздуха продолжаетъ оставаться раскаленнымъ, а накаленное до-красна желѣзо довольно скоро остываетъ, и притокъ воздуха (дутье), какъ извѣстно, даже способствуетъ его охлажденію? Не бываетъ ли и съ желѣзомъ при очень высокой температурѣ того же, что съ углемъ? Какъ мы тогда назовемъ явленіе? (См. гл. XI). Итакъ, какая разница между „горѣніемъ" и „накаливаніемъ?"—Почему пламя свѣчи гаснетъ, если махнуть на него напр. рукою? Притокъ кислорода къ пламени при этомъ увеличивается; слѣдов. горѣніе, казалось бы, должно усилиться (какъ это и бываетъ напр. при раздуваніи пламени кузнечнаго горна или при вѣтрѣ во время пожара). Слѣдов., что беретъ перевѣсъ?—**407.** Привести нѣсколько примѣровъ развитія теплоты при треніи и ударѣ, кромѣ названныхъ въ текстѣ.



311.

XXIII.

О механической работѣ и энергіи. Теплота и работа. Механическая мѣра количества теплоты.

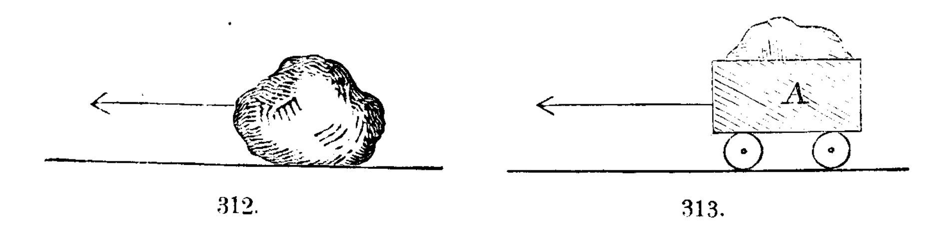
О механической работѣ.

408. Поднимая какой нибудь грузъ, мы преодолѣваемъ тѣмъ большее сопротивленіе, чѣмъ больше величина груза. Но поднять напр. пудовый грузъ въ четвертый этажъ труднѣе, чѣмъ въ третій, а въ третій—труднѣе, нежели во второй. На преодолѣваніе силы тяжести затрачивается нами тѣмъ болѣе труда, или работы, чѣмъ больше вѣсъ тѣла и чѣмъ выше оно поднято.

Дѣйствіе, состоящее въ подниманіи груза на нѣкоторую высоту, вообще называютъ работою поднятія, независимо отъ того, чѣмъ оно производится: мышечною силою человѣка, лошади или какимъ нибудь механическимъ двигателемъ. Работа будетъ тѣмъ больше, чѣмъ тяжелѣе поднимаемое тѣло и чѣмъ больше высота, на которую оно поднято.

Когда мы тащимъ грузъ по горизонтальной плоскости (на рис. 312 и 313 направленіе движенія обозначено стрѣлкою), мы не преодолѣваемъ его тяжести, потому что не поднимаемъ груза. Но грузъ вслѣдствіе тяжести надавли-

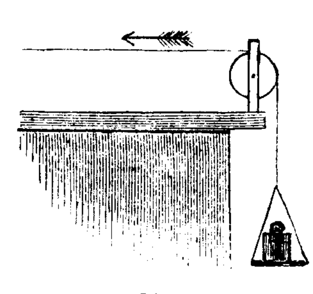
ваетъ на плоскость, и это причиняетъ треніе, которое именно и приходится преодолѣвать. Величина тренія при той же величинѣ груза конечно можетъ быть очень



312. 313.

различна, въ зависимости отъ того, каковы соприкасающіяся поверхности, находится ли грузъ на колесахъ и пр.

Преодолѣвая треніе, мы тоже совершаемъ работу. При этомъ мы тянемъ предметъ *A* (рис. 313), напр. за горизонтальную веревку, съ опредѣленнымъ усиліемъ, какъ будто мы за ту же веревку поднимали нѣкоторый подвѣшенный на блокѣ грузъ (рис. 314). Слѣдовательно и въ этомъ случаѣ величину преодолѣваемаго сопротивленія можно выразить въ вѣсовыхъ единицахъ, въ пудахъ или килограммахъ. Положимъ, что лошадь равномѣрно движетъ по рельсамъ нагруженную повозку (рис. 313), и что при томъ же самомъ усиліи она могла бы поднимать за веревку 3-пудовый грузъ (рис. 314). Тогда мы скажемъ, что преодолѣваемое ею сопротивленіе (тренія) равно вѣсу 3-пудовой гири или, короче, 3 пудамъ. Если при этомъ усиліи лошадь протащила повозку на 20 футовъ, то она произвела такую же работу, какъ если бы подняла за веревку 3-пудовый грузъ на 20 футовъ высоты. Но это же дѣйствіе можетъ быть произведено какимъ нибудь механическимъ двигателемъ; перенося сказанное и на этотъ случай, мы видимъ, что совершенная двигателемъ работа равна работѣ поднятія 3 пудовъ на 20 футовъ.



314.

Всякое вообще дѣйствіе, состоящее въ преодолѣваніи сопротивленія на нѣкоторомъ пути, называется работою [1]. Преодолѣваніе упругости пружины при ея сжатіи или растяженіи, преодолѣваніе связи частицъ дерева при его обработкѣ (распиливаніи и пр.), преодолѣваніе движущимся тѣломъ сопротивленія воды или воздуха и т. д.— все это примѣры работы. Выражая величину преодолѣваемаго сопротивленія въ пудахъ или килограммахъ, можно всякую работу приравнять работѣ поднятія нѣкотораго числа пудовъ (килограммовъ) на нѣкоторое число футовъ (метровъ).

409. Поднятый грузъ опять можетъ упасть. Но, падая, онъ въ состояніи подбросить (поднять) другой грузъ, взрыть землю, разбить какой нибудь предметъ или самъ разбиться—словомъ преодолѣть различныя сопротивленія. Очень обыкновенный примѣръ тому представляетъ вколачиваніе свай посредствомъ падающаго груза (бабы). Поднятый грузъ способенъ производить работу. Чѣмъ больше его вѣсъ и высота, на которую онъ былъ поднятъ, тѣмъ бо́льшую работу онъ самъ можетъ произвести, возвращаясь въ свое первоначальное положеніе. Опытъ показываетъ, что она равняется той работѣ, которая была израсходована на его поднятіе. Такимъ образомъ работа, затрачиваемая на поднятіе тѣла, какъ бы запасается въ его новомъ положеніи.

Выраженіе „способность производить работу“ очень часто и съ большимъ удобствомъ замѣняютъ словомъ **энергія.** Мы скажемъ, что работа, затраченная на поднятіе груза, сообщаетъ ему энергію, которая можетъ быть использована, если дать грузу опуститься до первоначальной высоты.

Энергіей обладаетъ запруженная—слѣдовательно могущая падать—вода. Запруженную воду можно въ этомъ отношеніи сравнить съ приподнятымъ надъ землею грузомъ. Падая съ болѣе высокаго уровня на болѣе низкій, вода можетъ двигать мельницу, преодолѣвая сопротивленія его механизма и производя кромѣ того всѣмъ извѣстную полезную работу.

410. Нѣтъ надобности доказывать, что энергіей обладаетъ всякое движущееся тѣло, всякая движущаяся масса, независимо отъ того, какимъ образомъ тѣлу

[1] Или механической работой; прибавка слова „механической“ служитъ для отличія отъ другихъ родовъ „работы“, напримѣръ „умственной“.

было сообщено движеніе: силою тяжести или другою движущей причиною. Каждый знаетъ, что движущаяся масса можетъ преодолѣвать различныя сопротивленія, встрѣчающіяся на ея пути, т. е. совершать работу (примѣры: работа молота, камня, ударяющагося о преграду, работа маховаго колеса, работа вѣтра, т. е. движущагося воздуха).

Энергія движущагося тѣла тѣмъ больше, чѣмъ оно грузнѣе—чѣмъ больше его вѣсъ (или, правильнѣе, масса)—и чѣмъ быстрѣе оно движется. Какъ велика можетъ быть энергія тѣлъ большой массы или движущихся съ большою скоростью, наглядно доказывается страшными несчастіями при внезапной остановкѣ желѣзнодорожнаго поѣзда, разрушительными дѣйствіями урагана, послѣдствіями удара артиллерійскаго снаряда и т. п.—На совершаемую имъ работу движущееся тѣло расходуетъ свою энергію; если послѣдняя не пополняется какимъ либо образомъ, то тѣло утрачиваетъ свою скорость и останавливается.

Представимъ себѣ теперь, что вся энергія движущагося тѣла расходуется на поднятіе груза: тогда нѣкоторое число пудовъ или килограммовъ будутъ подняты на извѣстное число футовъ или метровъ. Слѣдовательно работу, которую способно произвести движущееся тѣло, утрачивая свою скорость, можно приравнять той или другой работѣ поднятія груза.

Единица работы.

411*. Положимъ, что одинъ разъ 3-пудовый грузъ былъ поднятъ на 20 футовъ, а другой разъ 5-пудовый на 12 футовъ. Какъ составить себѣ понятіе о томъ, одинаковая ли работа была затрачена въ обоихъ случаяхъ или нѣтъ? (Допустимъ, что при самомъ поднятіи никакихъ другихъ сопротивленій, кромѣ тяжести, не преодолѣвается). Для этого сравнимъ ту и другую работу съ работою поднятія 1 пуда на 1 футъ, принявъ эту послѣднюю условно за единицу сравненія. Поднятіе 3-пудоваго груза на одинъ футъ можно замѣнить троекратнымъ поднятіемъ 1 пуда на ту же высоту: работа будетъ въ три раза больше той, которая принята за 1. Но поднять трехпудовый грузъ на двадцать футовъ—то же, что поднять эти три пуда двадцать разъ на высоту одного фута; очевидно эта работа будетъ уже въ 60 (= 3 . 20) разъ больше принятой нами за единицу. Точно также найдемъ, что и работа поднятія 5 пудовъ на 12 футовъ соотвѣтствуетъ 5 . 12 = 60 нашимъ единицамъ. Слѣдов. обѣ работы по величинѣ одинаковы.

Итакъ, условившись въ нѣкоторой единицѣ, можно сравнивать между собою работу поднятія въ разныхъ случаяхъ,—можно измѣрять работу, какъ всякую другую величину.

Работа поднятія 1 пуда на 1 футъ служитъ въ русской системѣ мѣръ единицею работы и получила особенное названіе: пудофутъ (сокращенно пдф.). Такимъ образомъ работа поднятія

3 пудовъ	на	1	футъ	составитъ	3 пудофута.
1 пуда	„	20	футовъ	„	20 пудофутовъ
3 пудовъ	„	20	„	„	60 „
5 „	„	12	„	„	60 „ и т. п.

Мы видимъ, что работа поднятія находится чрезъ умноженіе числа пудовъ груза на число футовъ поднятія. Въ метрической системѣ мѣръ обычная единица работы—килограмметръ (сокращенно кгм.), т. е. работа поднятія груза въ 1 килограммъ на высоту 1 метра, и работа поднятія вообще измѣряется произведеніемъ числа килограммовъ груза на число метровъ поднятія. Если тѣло вѣситъ p килогр. и поднято на h метровъ, то работа поднятія $= p \times h$ или ph килограмметрамъ. Такимъ же числомъ килограмметровъ выразится и количество энергіи, сообщенной тѣлу этимъ поднятіемъ.

Въ геометріи мы встрѣчаемся съ очень сходнымъ пріемомъ измѣренія площадей квадратными единицами. Пусть мы имѣемъ два прямоугольника, изъ которыхъ у одного основаніе 3 см., а высота 20 см., у другого основаніе 5 см., а высота 12 см. Чтобы сравнить между собою ихъ площади, мы принимаемъ за единицу площадь такого прямоугольника, котораго высота и основаніе равны 1 сантиметру, т. е. площадь квадрата съ ребромъ = 1 см. Путемъ простого разсмотрѣнія мы затѣмъ находимъ, что первая изъ этихъ площадей въ 3×20, а вторая въ 5×12 разъ больше площади, принятой за единицу. Назвавъ единичную площадь квадратнымъ сантиметромъ, мы скажемъ, что каждая изъ данныхъ площадей = 60 кв. см. Пло-

щадь прямоугольника измѣряется произведеніемъ числа единицъ основанія на число единицъ высоты и равна нѣкоторому числу условныхъ плоскостныхъ единицъ, называемыхъ „квадратнымъ сантиметромъ", „квадратнымъ дюймомъ" и проч. Подобно этому работа поднятія измѣряется произведеніемъ числа единицъ поднятаго груза на число единицъ высоты и равна нѣкоторому числу условныхъ единицъ работы, называемыхъ „килограмметромъ" или „пудофутомъ" (возможны еще и другія единицы работы).—См. также выше (§ 400) аналогичный способъ выражать количество теплоты въ большихъ или малыхъ калоріяхъ (килограммъ-градусахъ или граммъ-градусахъ).

412*. Если работа двигателя состоитъ не въ поднятіи груза, а въ преодолѣваніи тренія, какъ напр. въ случаѣ равномѣрнаго перемѣщенія повозки по горизонтальному пути, то, какъ мы уже видѣли выше, она легко можетъ быть приравнена поднятію нѣкотораго груза. Пусть наприм. лошадь при усиліи въ 50 кг. протащила по рельсамъ повозку на 20 м. разстоянія: работа лошади противъ тренія очевидно одинакова съ тою, какую надо затратить, чтобы поднять 50-килограммовый грузъ на 20 метр., т. е. = 1000 килограмметрамъ (см. § 408).

Выражая величину преодолѣваемаго сопротивленія въ пудахъ или килограммахъ, а длину пути, на протяженіи котораго преодолѣвается сопротивленіе, въ футахъ или метрахъ, можно всякую работу выразить въ пудофутахъ или килограмметрахъ [1]. Въ тѣхъ же единицахъ можетъ быть выражена способность тѣла произвести ту или иную работу, когда ему даютъ упасть съ извѣстной высоты, или когда оно движется съ опредѣленною скоростью.

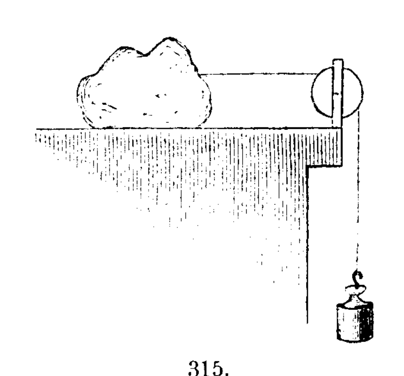
Теплота и работа.

413*. Обратимся теперь къ соотношенію между механическими дѣйствіями и теплотою. Когда теплота развивается

[1] При всякомъ производимомъ нами движеніи мы преодолѣваемъ какое-нибудь сопротивленіе — совершаемъ работу. Работа совершается нами напр. и тогда, когда мы говоримъ, потому что мы не безъ нѣкотораго усилія выталкиваемъ при этомъ воздухъ изъ легкихъ. Одинъ французскій физикъ нашелъ, что, въ среднемъ, при непринужденномъ разговорѣ человѣкъ совершаетъ въ теченіе часа работу около 48 килограмметровъ, а произносящій рѣчь въ большой залѣ—около 200 кг.-м.

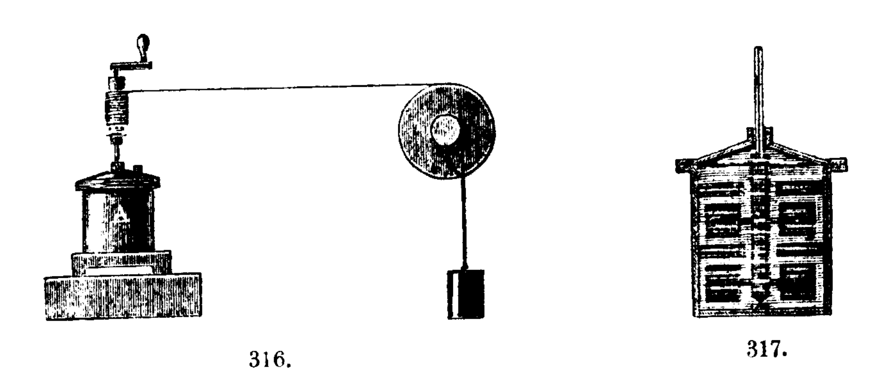
при треніи, ударѣ, сжатіи, она конечно не возникаетъ изъ ничего: нѣчто всегда расходуется на развитіе теплоты. Расходуется именно энергія тѣлъ, и запасъ ея въ тѣлахъ (если онъ не пополняется со стороны) становится соотвѣтственно меньше. Разсмотримъ это на нѣсколькихъ примѣрахъ.

При распиливаніи нами доски, теплота развивается вслѣдствіе тренія пилы о дерево. Но каждый знаетъ, что послѣ достаточно продолжительной работы чувствуется утомленіе, и является необходимость, какъ говорятъ, „возстановленія силъ" путемъ отдыха и принятія пищи. Совершая работу, мы именно расходуемъ энергію нашего организма, и теплота возникаетъ на-счетъ этого расхода.



315.

Пусть треніе — груза о горизонтальную доску—производится не живымъ двигателемъ, а напр. медленно опускающейся гирею (рис. 315). По мѣрѣ передвиженія груза, гиря приближается къ землѣ. Но это значитъ, что энергія, которая была сообщена гирѣ ея поднятіемъ, уменьшается: чѣмъ



316. 317.

ниже гиря, тѣмъ меньше та работа, которую она еще можетъ совершить. Такимъ образомъ и здѣсь развитіе теплоты при треніи груза о доску сопровождается расходованіемъ энергіи двигателя.

Положимъ еще, что медленно опускающійся большой грузъ вращаетъ, помощью шнура и блоковъ, ось съ лопатками внутри сосуда A съ водою (рис. 316), причемъ особыя перегородки мѣшаютъ водѣ вращаться всею массою, такъ что лопатки встрѣчаютъ при вращеніи большое противодѣйствіе (сосудъ представленъ въ разрѣзѣ и въ бо̀льшемъ видѣ на рис. 317). Опускающійся грузъ утрачиваетъ часть своей энергіи, а треніе лопатокъ о воду, какъ показываетъ опытъ, производитъ теплоту. Здѣсь является возможность опредѣлить и количество возникающей теплоты: для этого надо знать вѣсъ воды и опредѣлить, на сколько градусовъ она нагрѣется. Съ другой стороны, зная вѣсъ груза и высоту, съ которой онъ опустился, можно будетъ найти и число единицъ затраченной работы. Если предположимъ условія явленія такими, чтобы теплотою, возникающею въ другихъ трущихся частяхъ, а также потерями теплоты на сторону, можно было пренебречь, то найдемъ соотношеніе между количествами израсходованной работы и возникшей на ея счетъ теплоты.

318.

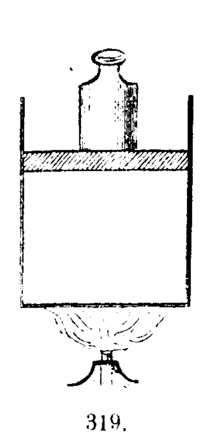
Нагрѣваніе воздуха при сжатіи, упоминавшееся выше (§ 407, воздушное огниво), можетъ быть произведено дѣйствіемъ груза (рис. 318), который, опускаясь, совершаетъ работу противъ упругости воздуха. Энергія груза расходуется на производство теплоты въ сжимающемся воздухѣ.

Возьмемъ теперь случай развитія теплоты при ударѣ, сопровождающемся мгновенной остановкой тѣла. Въ моментъ остановки вся энергія тѣла, обусловленная его движеніемъ, утрачивается, и взамѣнъ является теплота. Если тѣло останавливается не сразу (что обыкновенно и бываетъ), то и энергія его расходуется постепенно, по мѣрѣ уменьшенія скорости, на треніе и другія сопротивленія, слѣдствіемъ чего также бываетъ развитіе теплоты.

414. Теплота, развивающаяся при треніи, можетъ тутъ же расходоваться напр. на превращеніе твердаго тѣла въ жидкое или жидкости въ паръ. Если два куска льда помѣстить въ пространство съ температурою немного ниже 0°, принявъ мѣры противъ притока теплоты извнѣ, и тереть куски

другъ о друга (работою какого-нибудь двигателя), то ледъ станетъ плавиться: очевидное дѣйствіе производимой треніемъ теплоты.—При обработкѣ металловъ машинами, напр. при обтачиваніи и сверленіи пушекъ, развивается такъ много теплоты, что ея дѣйствіемъ можно было бы кипятить воду, какъ на кухонномъ очагѣ.— Во всѣхъ подобныхъ случаяхъ теплота появляется насчетъ затраты энергіи двигателя.

415. Въ свою очередь теплота можетъ быть источникомъ работы. Паровая машина, которая доставляетъ намъ работу, сжигая топливо, служитъ тому наглядным примѣромъ. Доказано, что въ этомъ случаѣ часть теплоты исчезаетъ, расходуется, — соотвѣтственно величинѣ произведенной работы. Для поясненія разберемъ здѣсь слѣдующій простѣйшій примѣръ „тепловой машины“. Пусть мы имѣемъ цилиндръ съ поршнемъ, на который положенъ грузъ; подъ поршнемъ находится нѣкоторый объемъ воздуха (рис. 319). Мы нагрѣваемъ воздухъ: онъ расширяется и приподнимаетъ поршень, преодолѣвая извѣстное сопротивленіе (равное вѣсу груза и поршня + давленіе атмосферы на поршень снаружи, если конечно пренебречь треніемъ о стѣнки цилиндра). Слѣдовательно расширяющійся воздухъ производитъ работу—тѣмъ бо̀льшую, чѣмъ больше давленіе и чѣмъ выше будетъ поднятъ поршень. При этомъ надо будетъ сообщить воздуху нѣкоторое опредѣленное количество теплоты. Но положимъ, что мы нагрѣваемъ тотъ же воздухъ, не давая ему расширяться (напр. закрѣпивъ поршень неподвижно). Теперь прежней работы не производится, и опытъ покажетъ, что для повышенія температуры воздуха на то же число градусовъ пойдетъ меньше теплоты. Въ первомъ случаѣ часть сообщаемой воздуху теплоты именно расходовалась на работу поднятія груза.



319.

Предположимъ еще, что воздухъ подъ поршнемъ сперва былъ сжатъ сравнительно съ наружнымъ, и что ему даютъ быстро расшириться. Преодолѣвая атмосферное давленіе (а также вѣсъ поршня и его треніе о стѣнки), воздухъ производитъ работу: онъ расходуетъ на это часть своего тепло-

вого запаса — и охлаждается. Наблюдать охлажденіе вслѣдствіе расширенія можно напр. такъ. Плотно закупоренную банку ставятъ подъ колпакъ воздушнаго насоса и дѣйствуютъ послѣднимъ, пока не выскочитъ пробка. Въ этотъ моментъ внутренность банки наполняется туманомъ, потому что вслѣдствіе охлажденія расширяющагося воздуха сгущается его влага. (Банку сперва полезно смочить изнутри водою).—То же самое наблюдается тогда, когда воздуху, сжатому въ склянкѣ (нагнетательнымъ насосомъ или даже просто ртомъ), даютъ сразу выходъ наружу [1].

416*. Многочисленные и точные опыты показали, что нужна нѣкоторая совершенно опредѣленная затрата работы, чтобы получить одну тепловую единицу, и наоборотъ, точно такая же работа доставляется каждою израсходованною на работу единицею теплоты.

Разсмотрѣнное нами—пока въ самыхъ общихъ чертахъ—соотношеніе между теплотою и работою показываетъ намъ, что теплота и работа въ извѣстномъ смыслѣ равнозначны другъ другу. Это и выражаютъ, говоря, что теплота можетъ преобразовываться или превращаться въ работу и наоборотъ.

Постоянное соотношеніе между количествомъ израсходованной работы и возникшей на ея счетъ теплоты выразится тѣмъ или другимъ числомъ, смотря по тому, какія единицы принять для теплоты и работы. За единицу теплоты принято нами выше (§ 400) то ея количество, которое повышаетъ температуру 1 килограмма воды на 1° Ц. Иногда удобнѣе принять единицу въ 1000 разъ меньшую, именно количество теплоты, нагрѣвающей 1 граммъ воды на 1° Ц. Для отличія обѣихъ тепловыхъ единицъ другъ отъ друга, какъ уже было упомянуто, первую называютъ большой калоріей, а вторую — малой калоріей.

Въ среднемъ изъ многихъ опытовъ найдено, что для

[1] Существуютъ очень удобные небольшіе двигатели, въ которыхъ попеременнымъ нагрѣваніемъ и охлажденіемъ одного и того же количества воздуха приводится въ движеніе поршень, вращающій въ свою очередь валъ съ маховымъ колесомъ. Но для большихъ двигателей оказывается болѣе выгоднымъ примѣненіе горячаго водяного пара вмѣсто воздуха. О паровыхъ машинахъ будетъ сказано ниже, послѣ того, какъ будутъ разсмотрѣны нѣкоторыя свойства паровъ.

полученія 1 большой калоріи надо израсходовать на производство теплоты 428 килограмметровъ работы, и наоборотъ, каждая израсходованная на совершеніе работы большая калорія доставляетъ 428 кг.-м. работы. Можно сказать, что 428 кг.-м. работы равнозначны или эквивалентны количеству теплоты, нагрѣвающей 1 кг. воды на 1° Ц. Поэтому самое число 428 называютъ механическимъ эквивалентомъ большей калоріи или короче — механическимъ эквивалентомъ теплоты.

417*. Пользуясь этимъ соотношеніемъ, можно всякій приходъ или расходъ теплоты выразить въ механическихъ единицахъ, въ единицахъ работы, и наоборотъ. Вотъ нѣсколько примѣровъ.

1) Для нагрѣванія 1 кг. воды отъ 0° до кипѣнія (100° Ц.) нужно 100 б. калорій, которыя равнозначны 428 × 100, или 42800 килогр.-м. работы. Послѣднюю величину можно представить себѣ въ видѣ работы поднятія груза, — напр. 42800 кг. на высоту 1 м., или 428 кг. на 100 м., или же 100 кг. на 428 м. и т. д. Чтобы выразить результатъ нагляднымъ образомъ, представимъ его въ видѣ работы поднятія 400 кг. на 107 м., т. е. 25 пуд. на 50 саж. Итакъ, если бы теплоту, необходимую для нагрѣванія 1 кг. воды (немного менѣе $2^1/_2$ ф.) отъ 0° до кипѣнія, можно было израсходовать на работу поднятія груза, то можно бы было поднять 25 пуд. на высоту Исаакіевскаго собора въ Петербургѣ.

2) Каждое падающее съ высоты тѣло болѣе или менѣе нагрѣвается въ моментъ удара о землю, какъ всякое другое, быстро останавливаемое препятствіемъ. На сколько градусовъ повысится температура воды, упавшей съ высоты 428 м. (200 саж.), если предположить, что паденіе происходитъ безъ сопротивленія воздуха и что вся развивающаяся теплота идетъ только на нагрѣваніе воды? Дабы отвѣтить на вопросъ, надо имѣть въ виду, что каждый килограммъ воды, упавъ съ высоты 428 м., утрачиваетъ 428 килогр.-м. энергіи, сообщенной ему поднятіемъ на эту высоту; взамѣнъ является теплота въ количествѣ 1 б. калоріи, отъ которой килограммъ воды нагрѣется на 1° Ц. Высотѣ въ 25 саж. (немного меньше полной высоты паденія Ніагарскаго водопада) соотвѣтствовало бы повышеніе температуры

на $^1/_8$° Ц.—Положимъ еще, что свинцовая пуля ударяется о камень, упавъ съ высоты 107 м. (50 саж.); на сколько градусовъ повысилась бы температура свинца при тѣхъ же условіяхъ, какъ въ предыдущемъ случаѣ? Вода, упавъ съ этой высоты ($= \frac{1}{4} \cdot 428$ м.), нагрѣлась бы на $\frac{1}{4}$° Ц.; но для нагрѣванія свинца требуется въ 32 раза меньше теплоты, чѣмъ для нагрѣванія воды на столько же градусовъ (теплоемкость свинца 0,031, см. § 401): слѣдов. то количество теплоты, которое можетъ нагрѣть воду на $\frac{1}{4}$°, нагрѣетъ равную массу свинца на $32 \times \frac{1}{4}$, т. е. на 8° Ц.

3) При сгораніи 1 килограмма угля (нѣсколько менѣе $2^1/_2$ ф.) развивается около 8000 б. калорій, что равнозначно работѣ, круглымъ счетомъ, въ 3400000 килогр.-м., т. е. примѣрно работѣ поднятія 200 пудовъ на 1 версту, или 2000 пудовъ на высоту Исаакіевскаго собора.

Изъ послѣдняго примѣра видно, какому огромному количеству работы соотвѣтствуетъ теплота, доставляемая топливомъ (см. его тепловую производительность въ § 405). Хотя сравнительно лишь малая часть ея можетъ быть использована для производства работы (бóльшая часть теплоты теряется непроизводительно чрезъ передачу окружающимъ тѣламъ), тѣмъ не менѣе становится весьма понятнымъ, почему можно совершать столь всѣмъ извѣстныя большія дѣйствія съ помощью паровыхъ машинъ.

411, 412. 1) Сколько пудофутовъ работы затрачивается при поднятіи 12 пудовъ на 20 футовъ? Шести пудовъ на 40 ф.? Четырехъ пудовъ на 60 ф.? Одного пуда на 240 ф.? Двухсотсорока пуд. на 1 ф.? Представить подобнымъ же образомъ работу въ 100 килограмметровъ подъ нѣсколькими различными видами, т. е. поднятіемъ разныхъ грузовъ на разную высоту.—**2**) Сколько пудофутовъ работы затрачиваетъ носильщикъ, поднимая 8-пудовую стопу кирпичей на 10 сажень? Если носильщикъ вѣситъ 4 пуда, то какую долю производимой имъ *полезной* работы составляетъ работа поднятія его самого на ту же высоту? *Отв.* $^1/_2$.—**3**) Сколькимъ пудофутамъ соотвѣтствуетъ работа поднятія 8 ведеръ воды изъ колодца глубиною въ 6 аршинъ? *Отв.* $\frac{8.30}{40} \cdot 6 \cdot \frac{7}{3} = 84$ пдф. —

Сколько кг.-м. работы затрачивается на поднятіе 1 куб. м. воды на 10 м.? (куб. м. воды вѣситъ 1 тонну, или 1000 кг.).—**4**) Обратить вниманіе на сходство въ *численномъ выраженіи* работы поднятія груза и количества теплоты, расходуемаго на нагрѣваніе воды (§ 400). Сколько *килограмметровъ* работы расходуется на поднятіе 10 кг. съ 15 до 35 метровъ? Сколько *калорій* тратится для нагрѣванія 10 кг. воды отъ 15 до 35 градусовъ Ц.?—**5**) Лошадь протащила равномѣрно по горизонтальнымъ рельсамъ вагонъ на протяженіи 80 фут. при постоянномъ усиліи въ 4 пуда. Какъ велика совершенная лошадью работа? На какую высоту она могла бы, напр. съ помощью перекинутой чрезъ блокъ веревки (см. рис. 314), поднять *съ такою же затратою работы* грузъ въ 1 п., 2 п., 4 п.,—если не принимать въ разсчетъ тренія блока и веревки?—**6**) Шестипудовый грузъ, находившійся на высотѣ 1 сажени надъ землею, былъ поднятъ до высоты 11 сажень; насколько пудофутовъ увеличилась энергія груза?—**7**) Огромный паровой молотъ (см. ниже рис. 348) одного американскаго желѣзнаго завода вѣситъ 125 тоннъ; сколько килограмметровъ энергіи сообщается молоту поднятіемъ его на 1 м.? Если бы *вся* работа, доставляемая паденіемъ молота съ этой высоты, была израсходована на поднятіе груза, то на какую высоту былъ бы подброшенъ грузъ въ 1 тонну? Въ 100 кг. (около 6 пуд.)? – **8**) Пока тяга паровоза *ускоряетъ* движеніе поѣзда, расходуется ли *вся* работа паровоза на преодолѣваніе сопротивленій, зависящихъ отъ тренія и присутствія воздуха? Какой новый, все возрастающій, запасъ энергіи пріобрѣтается поѣздомъ по мѣрѣ того, какъ скорость его увеличивается? — **9**) Сколькимъ килограмметрамъ соотвѣтствуетъ 1 пудофутъ, если принять 1 пудъ=16 кг., а футъ=0,3 метра. *Отв.* 1 пдф. = 16.0,3 = 4,8 кг.-м. — Точнѣе: такъ какъ 1 п.=16,4 кг., а 1 м.=3,28 ф., то 1 пдф.$=16,4 \cdot \frac{100}{328} = 5$ кг.-м.—

418. При ударѣ стального ножа или молотка о твердый камень (огнива о кремень) отскакиваютъ искры. Чѣмъ объяснить ихъ появленіе, если имѣть въ виду, что отъ стали при ударѣ отрываются мельчайшія частички металла?—Погасшія искры падаютъ на подложенную бумагу въ видѣ черныхъ крупинокъ; изъ чего состоятъ теперь эти крупинки? (См. химическія явленія, гл. XI, § 178).—Отчего иногда появляются искры подъ ногами бѣгущей лошади, подъ полозьями саней?—**416.** Какъ понимать выраженіе: работа „превращается“ или „преобразовывается“ въ теплоту и наоборотъ?—*a*) Представить 428 кг.-м. работы въ видѣ работы поднятія разныхъ грузовъ на разную высоту. *b*) На какую высоту можетъ быть поднятъ затратою этой работы *пудовый* грузъ, если 1 м.$=^{15}/_{16}$ полусажени и если принять пудъ = 16 кг.? *Отв. a*) 428 кг. на 1 м., 214 кг. на 2 м., 107 кг. на 4 м. и т. п. *b*) 428 м. почти точно=200 саж.; работа поднятія 1 кг. на 200 саж. равна работѣ поднятія 16 кг. на $12^1/_2$ саж., т. е. 1 пуда на $12^1/_2$ саж. (примѣрно высота большого шести-этажнаго дома).—

Механическій эквивалентъ большой калоріи (1 кг. - 1° Ц.) равняется 428 кг.-м. Сколькимъ *пудофутамъ* будетъ эквивалентно количество теплоты, нагрѣвающее 1 ф. воды на 1° Р.? (1 п.= 16,4 кг., 1 пдф. = 5 кг.-м., 1° Р. = $\frac{5}{4}$° Ц.) *Отв.* $\frac{428}{5} \cdot \frac{16,4}{40} \cdot \frac{5}{4} =$ 43,87, или округленно 44 пдф.—**417.** Ртуть при быстромъ и многократномъ переливаніи изъ одного сосуда въ другой нагрѣвается (повышеніе температуры можетъ быть обнаружено термометромъ). Почему?

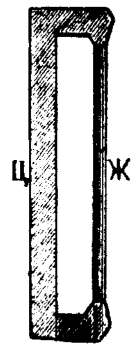
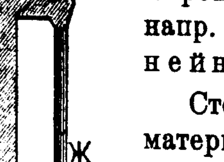
XXIV.

Измѣненіе размѣровъ и объема тѣлъ съ измѣненіемъ температуры. О температурахъ плавленія и кипѣнія.

Линейное и объемное расширеніе.

418. Первыя свѣдѣнія объ измѣненіи объема и состоянія тѣлъ дѣйствіемъ теплоты уже были даны выше, въ гл. IX. Здѣсь мы дополнимъ ихъ нѣкоторыми важными подробностями.

При нагрѣваніи твердаго тѣла мы можемъ наблюдать какъ увеличеніе его объема—объемное или кубическое расширеніе, такъ и увеличеніе его размѣровъ въ одномъ какомъ-либо направленіи, напр. въ длину или ширину,—расширеніе линейное.

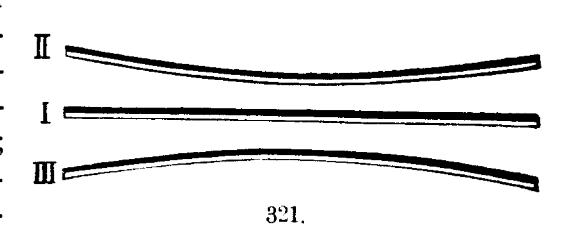



320.

Стержни одинаковой длины изъ различныхъ матерьяловъ, нагрѣваемые въ одинаковой степени, удлиняются неодинаково. Возьмемъ напр. толстую цинковую пластинку изображенной на рис. 320 формы и между ея выступами вставимъ желѣзную палочку такой длины, чтобы она только что держалось при горизонтальномъ расположеніи прибора. Если погрузимъ все въ

теплую воду, то желѣзная палочка выпадетъ, потому что удлиняется меньше, чѣмъ соотвѣтствующая ей часть цинковой пластинки [1].

Прямая желѣзная пластинка, покрытая съ одной стороны слоемъ олова (съ нижней—на рис. 321 I), при нагрѣваніи изгибается дугою, причемъ оловянный слой образуетъ собою наружную часть дуги (II); отсюда можно заключить, что олово расширяется значительнѣе желѣза. Достаточное охлажденіе произвело бы изгибъ въ обратную сторону (III).



321.

419*. Чтобы сравнить между собою величину линейнаго расширенія различныхъ матерьяловъ, надо было бы взять стержни одинаковой длины и нагрѣвать ихъ на одно и то же число градусовъ. Но можно поступить и иначе, основываясь на слѣдующемъ. Представимъ себѣ,—чтобы не имѣть дѣла съ очень малыми числами,—линейное расширеніе тѣлъ въ сильно преувеличенномъ видѣ и положимъ, что напр. стержень въ 1 аршинъ при нагрѣваніи на одинъ градусъ [2] удлинился на 1 вершокъ: удлиненіе составитъ тогда $^1/_{16}$ первоначальной длины стержня. Если возьмемъ стержень изъ того же матерьяла въ 2 аршина длиною, то прибавка длины при нагрѣваніи его на 1° будетъ уже равняться 2 вершкамъ; но эта прибавка составитъ опять ту же долю первоначальной длины, какъ прежде ($^2/_{32}$ или $^1/_{16}$). Трехаршинный стержень удлинился бы на 3 в., т. е. на $^3/_{48}$, или на ту же $^1/_{16}$ первоначальной длины. Взявъ стержень изъ другого матерьяла, мы получили бы другую дробь. Величина дроби, какъ видимъ, не зависитъ отъ случайно взятой нами длины стержня, а только отъ свойствъ его матерьяла.

[1] Приборъ кромѣ того очень наглядно обнаруживаетъ удлиненіе цинковой пластинки при малѣйшемъ нагрѣваніи: достаточно подержать ее нѣкоторое время въ рукахъ (за среднюю часть), чтобы желѣзная палочка выпала.

[2] См. выноску къ § 400.

На дѣлѣ, измѣривъ длину стержня—обыкновенно при 0°, т. е. въ тающемъ льдѣ,—опредѣляютъ его удлиненіе при нагрѣваніи на нѣкоторое число градусовъ, напр. до 100° Ц., и разсчитываютъ, какую долю первоначальной длины составляетъ удлиненіе его на каждый градусъ. Здѣсь слѣдовательно предполагается, что удлиненіе стержня на каждый градусъ одинаково: это не совсѣмъ вѣрно, хотя вообще очень близко къ дѣйствительности.

Сравнимъ между собою линейныя расширенія цинка и желѣза, если напр. найдено, что при нагрѣваніи отъ 0° до 100° Ц. цинковый стержень, длина котораго при 0° была 1 метръ, удлинился на 2,9 миллиметра, а желѣзный въ 2 метра длиною—на 2,4 мм. Чтобы найти, какую долю первоначальной длины (1000 мм.) составляетъ полное удлиненіе цинковаго стержня, раздѣлимъ 2,9 на 1000: частное будетъ 0,0029; удлиненіе же на каждый градусъ въ 100 разъ меньше: раздѣливъ на 100, найдемъ 0,000029. Точно также найдемъ для желѣза $\frac{2,4}{2000 \cdot 100} = 0,000012$. Желѣзный стержень, будучи нагрѣтъ на 1° Ц., удлиняется на 12, а цинковый на 29 милліонныхъ своей длины при 0°; слѣдовательно линейное расширеніе цинка почти въ $2^1/_2$ раза больше, чѣмъ желѣза.

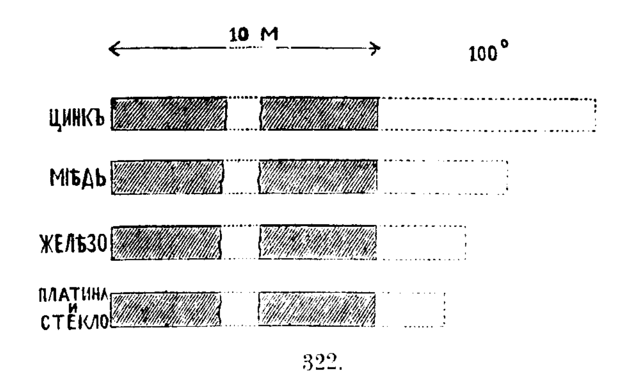
Вотъ числа, показывающія относительныя линейныя расширенія нѣкоторыхъ матерьяловъ на каждый градусъ термометра Ц.

Цинкъ	29 милліонныхъ, или	0,000029
Мѣдь (красная) . .	17 „ „	0,000017
Желѣзо	12 „ „	0,000012
Платина	9 „ „	0,000009

Линейное расширеніе обыкновеннаго стекла почти такое же, какъ платины, именно $8^1/_2$ милліонныхъ.—Рис. 322 наглядно показываетъ, насколько удлинились бы стержни изъ названныхъ матерьяловъ длиною въ 10 метровъ (14 арш.) при 0°, если ихъ нагрѣть до 100° Ц.

Какъ уже замѣчено выше, относительное линейное расширеніе на 1° не совсѣмъ одинаково при разныхъ температурахъ. Другими словами, удлиненія стержня отъ 0° до 1°, отъ 20° до 21°, отъ 50° до 51° и т. п. не составляютъ въ

точности одной и той же доли его длины при 0°. Но разницы такъ малы, что большею частью ими можно пренебречь. Въ табличкѣ даны среднія (и притомъ округленныя) числа. Въ физикѣ эти числа называются средними коефиціентами линейнаго расширенія тѣлъ [1].—Границы температуръ, между которыми опредѣляется расширеніе, конечно выбираютъ сообразно свойствамъ тѣла. Можно напр. поставить вопросъ о расширеніи льда при нагрѣваніи. Тогда 0° будетъ высшею его температурой; за низшую или первоначальную берутъ температуру на то или иное число градусовъ ниже 0°. Оказывается, что линейное расширеніе льда значительно больше, чѣмъ всѣхъ названныхъ выше тѣлъ, именно около 50 милліонныхъ.



322.

420*. Числа нашей таблички позволяютъ находить помощью простого вычисленія, насколько увеличится длина тѣла при томъ или иномъ повышеніи его температуры. Узнаемъ напр., насколько удлинится цинковая водосточная труба, имѣющая 20 м. длины (около 10 саж.) при температурѣ 25° Ц. ниже нуля (зимою), если температура ея повысится до + 25° Ц. (лѣтомъ), т. е. въ общемъ на 50°. Безъ значительной погрѣшности можно считать, что труба удлинится настолько же, какъ при повышеніи температуры отъ 0° до 50°. Прибавка длины на каждый градусъ Ц. составляетъ для цинка 29 милліонныхъ длины при 0°. Слѣдов.

[1] Замѣчательно малымъ коефиціентомъ лин. расширенія отличается сплавъ стали съ никкелемъ, названный инваромъ: удлиненіе стержня или проволоки изъ этого матерьяла составляетъ всего около одной милліонной на каждый градусъ.

удлиненіе 20-метровой трубы на 1° равно 20.0,000029 м., а на 50°—въ 50 разъ больше, т. е.

20.0,000029.50 метр.;

это составляетъ 2,9 см. (около 1,2 дюйма).

Что касается объемнаго расширенія, то оно по числовой величинѣ (почти точно) втрое больше линейнаго. Притомъ сплошное и полое внутри тѣло расширяются одинаково. Такъ напр. мѣдный котелъ, вмѣщающій 1 ведро (750 куб. д.) воды при 0°, будучи нагрѣтъ до температуры кипѣнія воды (100° Ц.), увеличится въ объемѣ на 750.0,000017.3 куб. дюйм., т. е. приблизительно на 3,8 куб. дюйм.

421 *. Въ случаѣ жидкостей (и газовъ) мы конечно можемъ ставить вопросъ лишь объ ихъ объемномъ расширеніи, потому что линейные размѣры жидкой массы связаны съ размѣрами той оболочки изъ твердаго тѣла, въ которую жидкость по необходимости должна быть заключена. Обыкновенно для наблюденія жидкость помѣщаютъ въ резервуаръ съ тонкой трубкой (какъ въ термометрахъ) и измѣряютъ удлиненіе столбика въ трубкѣ при нагрѣваніи жидкости; но столбикъ удлиняется конечно вслѣдствіе увеличенія объема всей жидкости. Кромѣ того, такъ какъ при нагрѣваніи расширяется и твердая оболочка, въ которую жидкость заключена, то мы наблюдаемъ прямо не полное расширеніе жидкости, а лишь разницу между расширеніемъ жидкости и расширеніемъ оболочки. Зная расширеніе оболочки, можно уже найти истинную величину расширенія жидкости. (Придуманъ впрочемъ остроумный пріемъ, позволяющій опредѣлить расширеніе жидкости совершенно независимо отъ измѣненія объема оболочки). Вотъ нѣсколько чиселъ.

Ртуть при нагрѣваніи отъ 0° до 100° Ц. расширяется на 0,018 или на 1/55 своего первоначальнаго объема при 0° На каждый градусъ, въ среднемъ, это составитъ 0,00018 или 1/5500.

Измѣненіе объема воды, какъ извѣстно (§§ 140 и 154), имѣетъ ту особенность, что при нагрѣваніи отъ 0° до 4° Ц. вода сжимается, а при дальнѣйшемъ повышеніи температуры расширяется, такъ что при 4° Ц. данное количество воды занимаетъ наименьшій объемъ (вода имѣетъ тогда наибольшую плотность). Если объемъ воды при 4° Ц. принять за 1, то объемъ ея при 0° будетъ 1,0001, а при 100° Ц. около 1,04. Приблизительно можно сказать, что вода при нагрѣваніи отъ 0° до 100° Ц. расширяется на 0,04, или на 1/25 своего первоначальнаго объема. Слѣдовательно расширеніе воды гораздо значительнѣе, чѣмъ ртути.

Расширеніе керосина и безводнаго виннаго спирта при повышеніи температуры на 1° Ц. составляетъ около 0,001 того объема, который жидкости занимали при 0°.

Особенности, представляемыя газами.

422. Переходя къ газамъ, припомнимъ (§ 140), что объемъ газа, напр. воздуха, можетъ измѣняться въ очень широкихъ границахъ, смотря по давленію, подъ которымъ газъ находится,—что газъ постоянно стремится расшириться и сжимается не иначе, какъ отъ дѣйствія какого-либо внѣшняго давленія. Если нагрѣвать воздухъ въ открытомъ сосудѣ, то онъ расширяется; при нагрѣваніи же въ закупоренномъ сосудѣ возрастаетъ давленіе воздуха на стѣнки сосуда.

Отсюда слѣдуетъ, что по отношенію къ нагрѣваемому газу можно поставить два главныхъ вопроса:

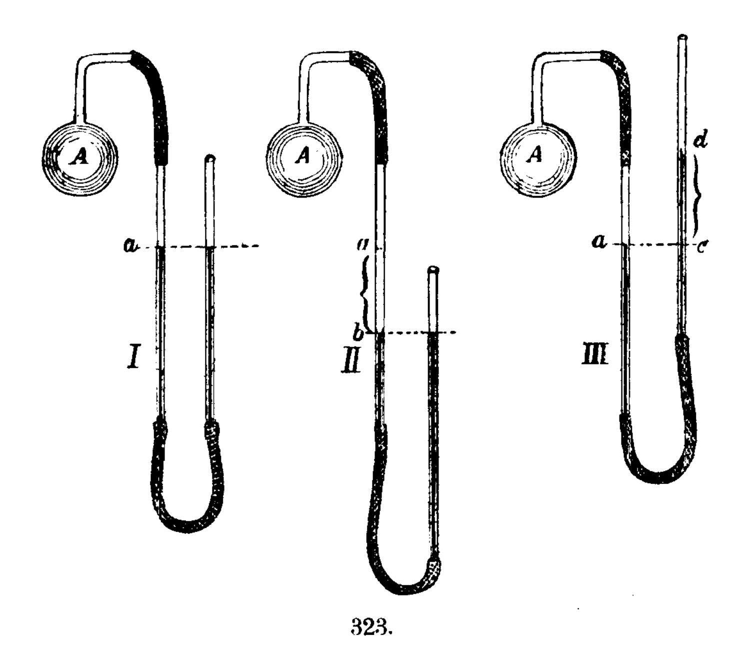
1) Насколько увеличится объемъ газа, если при нагрѣваніи предоставить ему расширяться, не измѣняя давленія, подъ которымъ газъ находится (напр. при обыкновенномъ атмосферномъ давленіи)?

2) Въ какой мѣрѣ возрастаетъ давленіе газа на стѣнки сосуда, если не давать газу расширяться, т. е. если объемъ нагрѣваемаго газа остается неизмѣннымъ? [1]

Чтобы лучше понять, въ чемъ именно дѣло, воспользуемся слѣдующимъ приборомъ. Стеклянный шарикъ *А* (рис. 323) сообщается съ „ртутнымъ манометромъ“, состоящимъ изъ двухъ стеклянныхъ трубокъ съ резиновой перемычкой между ними. 1) Пусть (I) воздухъ въ шарикѣ имѣетъ комнатную температуру, а ртуть въ обоихъ вѣтвяхъ манометра стоитъ на одномъ уровнѣ: тогда давленіе воздуха въ шарикѣ равно атмосферному. 2) Теперь нагрѣемъ шарикъ до нѣкоторой другой температуры. Когда пере-

[1] Такой же вопросъ можно конечно поставить и по отношенію къ жидкому или твердому тѣлу. Но давленіе жидкостей и твердыхъ тѣлъ на преграду, препятствующую ихъ расширенію при нагрѣваніи, даже незначительномъ, вообще такъ велико, что способно разорвать самую прочную оболочку.

мѣщеніе ртути прекратится, опустимъ открытую вѣтвь манометра настолько, чтобы уровни ртути опять сравнялись (II): тогда мы снова будемъ имѣть воздухъ при прежнемъ давленіи (атмосферномъ), но уже нагрѣтый до иной температуры; слѣдов. прибавка объема (*ab*) дастъ намъ отвѣтъ на первый вопросъ. 3) Удерживая воздухъ въ шарикѣ при повышенной температурѣ,



323.

поднимемъ открытую вѣтвь манометра такъ, чтобы привести ртуть въ другой вѣтви къ ея первоначальному уровню *a* (III). Тогда объемъ нагрѣтаго воздуха сдѣлается такимъ же, какимъ былъ до нагрѣванія, и прибавка давленія, указываемая разностью высотъ ртути (*cd*) въ манометрѣ, дастъ намъ отвѣтъ на второй вопросъ. (Описанныя наблюденія, какъ уже сказано, служатъ лишь для выясненія сущности дѣла; всякія усложняющія частности опущены).

423*. Точные опыты показываютъ, что

1) **Воздухъ, нагрѣваемый при неизмѣнномъ давленіи (если именно онъ расширяется подъ обыкновеннымъ давленіемъ наружнаго воздуха), съ каждымъ повышеніемъ температуры на 1° Ц. расширяется на 0,00367 или на 1/273 своего объема при 0°, т. е. отъ 0° до 100° воздухъ расширяется нѣсколько больше, чѣмъ на одну треть.**

Слѣдовательно 1 литръ воздуха, взятый при 0°,

при нагрѣваніи до 1° займетъ объемъ въ 1 + 1/273 литра.
„ „ „ 2° „ „ „ 1 + 2/273 „
„ „ „ 3° „ „ „ 1 + 3/273 „
. . . .
„ „ до 273° Ц. „ „ „ 1 + 273/273 или 2

или, что то же, 273 объема воздуха, взятые при 0°,

при нагрѣваніи до 1° займутъ 274 объема
„ „ „ 2° „ 275 объемовъ
„ „ „ 3° „ 276 „
. . . .
при охлажденіи до —1° „ 272 объема
„ „ „ —2° „ 271 объемъ
и т. д.

Число 1/273, или 0,00367, называется коефиціентомъ расширенія воздуха при постоянномъ давленіи.

2) **Расширеніе различныхъ газовъ при обычныхъ условіяхъ очень мало отличается другъ отъ друга.**

3) **Давленіе газа при повышеніи температуры, если объемъ его остается неизмѣннымъ, возрастаетъ съ каждымъ градусомъ Ц. на 1/273 того давленія, какое онъ имѣлъ при 0°, — съ очень малыми уклоненіями для разныхъ газовъ.** Слѣдов. при 273° Ц. давленіе удваивается противъ того, какое было при 0°.

Нормальный (газовый) термометръ; недостатки ртутнаго термометра.

424. Показанія обыкновенныхъ термометровъ, какъ мы знаемъ, связаны съ измѣненіемъ объема жидкости при перемѣнахъ температуры. Градусъ [1] термометрической шкалы есть опредѣленная (по Цельсію—сотая) часть промежутка между двумя основными точками, которыя соотвѣтствуютъ двумъ постояннымъ температурамъ: 1) температурѣ плавленія (таянія) чистаго льда, 2) температурѣ паровъ воды, кипящей подъ барометрическимъ давленіемъ въ 760 мм.

Но, вмѣсто жидкости, въ качествѣ „термометрическаго вещества“ можно взять и газъ. Представимъ себѣ приборъ вродѣ описаннаго выше (рис. 323), состоящій изъ сосуда съ воздухомъ или водородомъ и ртутнаго манометра для опредѣленія давленія газа въ сосудѣ: такъ какъ давленіе газа, при постоянномъ объемѣ, возрастаетъ съ каждымъ градусомъ Ц. на 1/273 того, какое было при 0°, то по давленію можно будетъ судить о температурѣ.

[1] Самое слово „градусъ“, по переводѣ съ латинскаго (gradus), означаетъ степень.

Это—самый точный способъ измѣренія температуры, и газовый термометръ (именно водородный) считается „нормальнымъ“ приборомъ, съ которымъ свѣряются показанія хорошихъ ртутныхъ тормометровъ.

425*. По сравненію съ нормальнымъ, термометры съ жидкостями—въ томъ числѣ и ртутные—имѣютъ много недостатковъ, зависящихъ какъ отъ самой термометрической жидкости, такъ и отъ стекла, изъ котораго состоитъ оболочка.

1) Объемъ жидкостей (какъ и твердыхъ тѣлъ, § 419) возрастаетъ съ температурою не вполнѣ равномѣрно, т. е. прибавка объема при повышеніи температуры на 1° по нормальному термометру не составляетъ при разныхъ температурахъ одной и той же доли первоначальнаго объема (при 0°). Слѣдовательно дѣленіе промежутка между точками таянія и кипѣнія на сто равныхъ частей, а тѣмъ болѣе откладываніе ихъ по шкалѣ выше 100° и ниже 0°, не вполнѣ отвѣчаетъ дѣйствительности. Ртутный термометръ въ этомъ отношеніи еще грѣшитъ менѣе другихъ; спиртовые же термометры давали бы очень невѣрныя показанія, если бы градусныя дѣленія ихъ дѣлать одинаковой длины.

2) На показаніяхъ термометра конечно отзывается и измѣненіе объема стеклянной оболочки. Но стекло тоже расширяется неравномѣрно, и разные сорта стекла расширяются неодинаково. (Въ случаѣ газоваго термометра это обстоятельство имѣетъ гораздо меньшее значеніе, потому что объемное расширеніе стекла приблизительно въ 150 разъ меньше, чѣмъ газовъ).

3) Стекло, кромѣ того, весьма своеобразно относится къ измѣненіямъ температуры. Послѣ всякаго нагрѣванія резервуаръ термометра не принимаетъ своего первоначальнаго объема тотчасъ же по охлажденіи, а продолжаетъ медленно сжиматься еще неопредѣленно долгое время. Если, отмѣтивъ точку таянія, нагрѣть термометръ въ парахъ кипящей воды, а потомъ повторить опредѣленіе нулевой точки въ тающемъ снѣгу, то окажется, что ртуть уже устанавливается выше первоначально помѣченной нулевой черты. Медленное сжатіе резервуара послѣ сильнаго нагрѣванія продолжается мѣсяцы и даже годы. Отсюда происходитъ тотъ почти общій недостатокъ обыкновенныхъ термометровъ, что съ теченіемъ времени ртуть въ тающемъ снѣгу устанавливается выше нуля термометрической шкалы, т. е. что термометръ начинаетъ показывать больше, чѣмъ слѣдуетъ. Въ настоящее время умѣютъ изготовлять стекло, „остаточное сжатіе“ котораго очень мало; тѣмъ не менѣе провѣрка нулевой точки отъ времени до времени необходима, если задаются цѣлью сколько-нибудь точно опредѣлять температуру.

Названныя (и другія) обстоятельства производятъ то, что два термометра, согласующіеся въ показаніяхъ при 0° и 100°, будутъ болѣе или менѣе расходиться при другихъ температурахъ. Цѣлый рядъ вычисленій или свѣрка съ нормальнымъ термометромъ нужны для того, чтобы по показаніямъ ртутнаго термометра правильно судить о температурѣ.

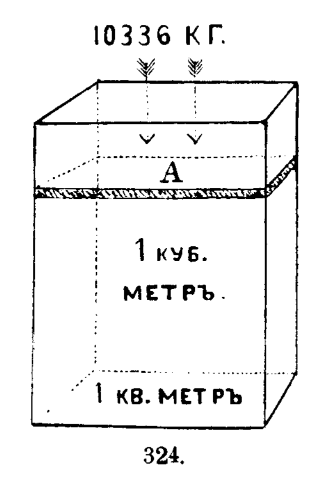
Было бы крайне затруднительно (и безполезно) свѣрять каждый термометръ съ воздушнымъ или водороднымъ. Обыкновенно въ качествѣ „нормальнаго“ служитъ тщательно изготовленный ртутный термометръ, показанія котораго свѣрены съ показаніями водороднаго.

Эти замѣчанія конечно относятся къ термометрамъ для сколько-нибудь точнаго опредѣленія температуры, гдѣ требуется увѣренность хотя бы въ десятыхъ доляхъ градуса. Таковы напр. всѣмъ извѣстные медицинскіе или врачебные термометры и термометры, служащіе для опредѣленія температуры воздуха при научномъ наблюденіи погоды (въ метеорологіи). Въ случаѣ обыкновенныхъ комнатныхъ и наружныхъ термометровъ единственная провѣрка, которою нельзя пренебрегать, есть провѣрка нулевой точки въ чистомъ тающемъ снѣгу, какъ уже было указано раньше (§ 152).

Тщательно изготовленными и провѣренными ртутными термометрами температура опредѣляется при научныхъ изслѣдованіяхъ съ точностью до 0,01°, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ—до немногихъ тысячныхъ долей градуса [1].

О работѣ расширенія: работа внѣшняя и внутренняя.

426. Какъ было уже упомянуто раньше (§ 140), твердое тѣло, расширяясь при нагрѣваніи, можетъ преодолѣвать (очень большія) внѣшнія сопротивленія: мы скажемъ теперь, что оно при нагрѣваніи можетъ совершать работу. Работу совершаетъ и расширяющійся при нагрѣваніи газъ, напр. воздухъ (§ 415). Въ послѣднемъ случаѣ ее не трудно и вычислить, зная коефиціентъ расширенія газа. Пусть въ прямоугольномъ сосудѣ (ящикѣ), дно котораго=1 кв. метру (рис. 324), заключенъ подъ поршнемъ *A* кубическій метръ воздуха. Воздухъ нагрѣваютъ на 1° Ц.: расширяясь, онъ преодолѣваетъ атмосферное давленіе—совершаетъ работу. Давленіе воздуха, при барометрической высотѣ въ 76 см., на площадь въ 1 кв.



324.

[1] Для опредѣленія высокихъ температуръ (напр. въ плавильныхъ печахъ) можетъ служить воздушный термометръ вродѣ описаннаго въ § 424, но съ шарикомъ изъ тугоплавкаго матерьяла (платины или фарфора); о температурѣ судятъ по давленію газа, объемъ котораго удерживается постояннымъ.

метръ $= 13,6 \times 76 \times 100^2 = 10336$ килогр. (см. § 68). При нагрѣваніи воздуха на 1° Ц. объемъ его увеличивается на $^1/_{273}$ (§ 423): поршень поднимется на $^1/_{273}$ м. Слѣд. работа поднятія $= 10336 \times {^1/_{273}} = 37,84$ килограмметра. (Мы не принимаемъ въ разсчетъ работы поднятія самаго поршня и работы противъ тренія его о стѣнки; первую легко было бы вычислить, зная вѣсъ поршня).

Такимъ образомъ мы находимъ величину работы, которую расширяющійся газъ совершаетъ противъ внѣшнихъ сопротивленій, величину внѣшней работы. На это расходуется соотвѣтствующее ей („эквивалентное") количество теплоты (см. §§ 415 и 416). Но часть сообщаемой теплоты тратится еще на работу иного рода. Между частицами каждаго тѣла, какъ намъ извѣстно (гл. VIII и § 219) предполагаются нѣкоторыя внутреннія связи, и онѣ должны быть болѣе или менѣе преодолѣны при расширеніи, которое мы представляемъ себѣ какъ удаленіе частицъ другъ отъ друга. Эта работа, въ отличіе отъ внѣшней, называется внутренней работою. Въ случаѣ газовъ она гораздо меньше, чѣмъ для твердыхъ и жидкихъ тѣлъ, такъ какъ внутреннія связи молекулъ газа несравненно слабѣе.

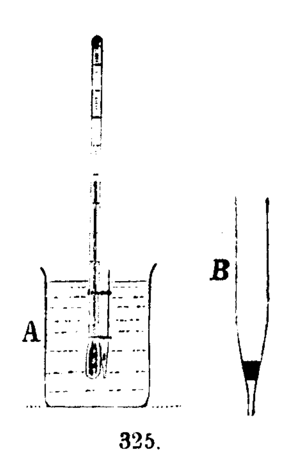
Мы видимъ отсюда, что сообщеніе теплоты тѣлу сопровождается цѣлымъ рядомъ явленій, о которыхъ сперва нельзя было бы и предполагать. Вообще говоря, часть сообщаемой теплоты тратится на внутреннюю работу, другая часть — на внѣшнюю, и только остальная воспринимается тѣломъ какъ теплота, т. е. производитъ повышеніе его температуры. Когда тѣло плавится или кипитъ, тогда вся притекающая къ нему теплота тратится на внутреннюю (и внѣшнюю) работу, т. е. перестаетъ быть теплотою, и тѣло въ теченіе всего времени плавленія или кипѣнія можетъ сохранять постоянную температуру, не смотря на продолжающійся притокъ теплоты.

О температурахъ плавленія и кипѣнія.

427. Температура плавленія есть температура перехода тѣла изъ твердаго состоянія въ жидкое или наоборотъ; по отношенію къ жидкости она будетъ температурою затвердѣванія. Только при этой переходной температурѣ твердое и жидкое состоянія тѣла могутъ существовать рядомъ, во взаимномъ соприкосновеніи, не превращаясь одно въ другое. Напр. температура, условно обозначаемая на термометрическихъ шкалахъ 0°, есть температура плавленія (таянія) льда и вмѣстѣ съ тѣмъ температура затвердѣванія (замерзанія) воды. Если чистые ледъ и вода находятся вмѣстѣ, въ одномъ сосудѣ, и количество того и другого съ теченіемъ времени не измѣняется, то вся смѣсь

имѣетъ нулевую температуру; при малѣйшемъ притокѣ теплоты начнется превращеніе льда въ воду, а при малѣйшемъ отнятіи—воды въ ледъ.

428. Чтобы опредѣлить температуру плавленія какого-нибудь легко плавящагося тѣла, напр. пчелинаго воска, поступаютъ такъ. Кусочекъ воска кладутъ въ тонкую запаянную съ конца стеклянную трубочку (*B* рис. 325), которую прикрѣпляютъ къ термометру близъ его резервуара; термометръ вмѣстѣ съ трубочкой опускаютъ въ стаканъ съ водою (*A*), которую мало-по-малу нагрѣваютъ, размѣшивая воду и слѣдя за показаніемъ термометра. Замѣчаютъ его температуру въ тотъ моментъ, когда воскъ только что начнетъ плавиться. Послѣ этого, продолжая подогрѣвать, расплавляютъ весь воскъ и даютъ водѣ охлаждаться. Спустя нѣкоторое время, воскъ начнетъ затвердѣвать: тогда снова отмѣчаютъ температуру, показываемую термометромъ. Въ дѣйствительности обѣ температуры должны бы быть одинаковы; но при производствѣ опыта показанія термометра нѣсколько запаздываютъ, и температуры выходятъ немного различными. Истинная температура плавленія должна лежать между ними: ее считаютъ равною среднему арифметическому двухъ найденныхъ (достаточно близкихъ между собою) температуръ.



325.

Другой пріемъ основывается на томъ, что температура тѣла въ теченіе времени его плавленія или затвердѣванія остается постоянною. Чтобы опредѣлить напр. температуру плавленія олова, расплавляютъ металлъ въ мѣдномъ котелкѣ съ термометромъ (защищенномъ отъ прямого соприкосновенія съ оловомъ мѣдной трубкою). Расплавленному олову даютъ охлаждаться, слѣдя за паденіемъ ртути въ термометрѣ, и отмѣчаютъ тѣ двѣ температуры, между которыми перемѣщеніе ртутнаго столбика будетъ происходить очень медленно: среднее изъ нихъ дастъ требуемую температуру плавленія.

Точныя наблюденія этого рода требуютъ разныхъ добавочныхъ

мѣръ предосторожности и нѣкоторыхъ поправокъ—между прочимъ принятія въ разсчетъ того обстоятельства, что выставляющаяся въ воздухъ часть ртутнаго столбика имѣетъ болѣе низкую температуру, нежели ртуть въ резервуарѣ.

Нѣсколько примѣровъ температуръ плавленія см. выше, въ § 155.

429. Многія твердыя тѣла еще задолго передъ плавленіемъ размягчаются, т. е. какъ бы постепенно переходятъ въ жидкое состояніе. Общеизвѣстными примѣрами могутъ служить воскъ, сало, коровье масло, стекло, желѣзо. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ для тѣла нельзя указать одной опредѣленной точки плавленія.

Если нагрѣвать нѣсколько тѣлъ вмѣстѣ, то очень часто они, расплавившись, образуютъ однородную смѣсь, или сплавъ. На практикѣ болѣе извѣстны металлическіе сплавы, напр. сплавы олова со свинцомъ, желтая мѣдь или латунь (сплавъ мѣди съ цинкомъ), разныя бронзы и т. п.

Любопытно, что однородныя смѣси плавятся легче, чѣмъ **каждая изъ ихъ составныхъ частей въ отдѣльности.** Вотъ примѣры изъ числа металлическихъ сплавовъ. Свинецъ плавится при 325° Ц., олово при 230°, а сплавъ, состоящій изъ 1 вѣс. части свинца и 2 ч. олова, плавится около 185° Ц. Помощью палочекъ, отлитыхъ изъ такого сплава, можно производить спайку мелкихъ желѣзныхъ или мѣдныхъ частей надъ пламенемъ свѣчки или спиртовой лампы—почти съ такою же легкостью, какъ скрѣпленіе сургучомъ. Сплавъ изъ 1 вѣс. ч. кадмія (темп. плавленія 320° Ц.), 1 ч. олова, 2 ч. свинца и 4 ч. висмута (т. пл. 260° Ц.) плавится уже около 70° Ц., т. е. въ горячей водѣ, далеко еще не достигшей температуры кипѣнія. Извѣстны сплавы, которые жидки уже при комнатной и даже болѣе низкой температурѣ, тогда какъ составныя ихъ части въ отдѣльности плавятся при температурахъ немногимъ ниже температуры кипящей воды.

430 *. Для опредѣленія температуры кипѣнія, термометръ держатъ въ парахъ кипящей жидкости, справляясь непремѣнно съ показаніемъ барометра, такъ какъ температура кипѣнія зависитъ отъ величины атмосфернаго давленія. О томъ, что температура кипѣнія воды измѣняется въ широкихъ границахъ съ измѣненіемъ внѣшняго давленія, уже было говорено раньше (§ 146). Приведемъ здѣсь нѣсколько (округленныхъ) числовыхъ примѣровъ.

Давленіе.		Темп. кипѣнія воды (Ц).	
4,6	мм. ртути	0°	
17,4	„ „	20°	(примѣрно комнатная).
418	„ „	84°	(темп. кип. при среднемъ давленіи на вершинѣ Монблана).
760	„ „	**100°**	(темп. кип. при „нормальномъ давленіи“).
4,7	атмосф.	150°	(температуры, которыя можетъ имѣть вода въ котлахъ паровыхъ машинъ).
15	„	200°	
27,5	„	230°	(темп. плавленія олова).
121	„	325°	(темп. плавленія свинца).
167	„	350°	(темп., при которой дерево, начинающее разлагаться около 300°, даетъ уже черный уголь. Почти температура кипѣнія ртути подъ обыкнов. давленіемъ).

При обычныхъ перемѣнахъ атмосфернаго давленія, температура кипѣнія воды измѣняется на 1° Ц. съ измѣненіемъ давленія на 27 мм. Такимъ образомъ при барометрическомъ давленіи въ 787 мм. температура кипѣнія воды по Цельсію 101°, а при 733 мм. давленія только 99°, Сообразно съ этимъ и дѣлаютъ поправку температуры кипѣнія на давленіе при провѣркѣ термометровъ.

Любопытно взглянуть, насколько измѣняется температура кипѣнія воды при перемѣнахъ атмосфернаго давленія въ мѣстностяхъ, лежащихъ близъ морского уровня? Давленіе въ такихъ мѣстностяхъ, если не считать исключительныхъ случаевъ, измѣняется примѣрно отъ 720 до 800 мм., т. е. на 80 мм. Слѣдовательно разницы въ температурѣ кипѣнія вообще не превышаютъ 3° Ц. Эти разницы (менѣе $2^1/_2$° Р.) остаются совершенно незамѣченными въ нашей повседневной жизни, а потому и не даютъ повода думать, чтобы вода могла кипѣть при очень различныхъ температурахъ.

Сказанное выше (кромѣ числовыхъ данныхъ) вообще относится и до другихъ жидкостей [1].

431. Растворенныя твердыя вещества повышаютъ температуру кипящей жидкости. Примѣръ раствора обыкновенной соли въ водѣ былъ приве-

[1] Изготовляютъ ртутные термометры, въ которыхъ давленіе на ртуть по мѣрѣ ея расширенія возрастаетъ, благодаря тому, что надъ ртутью заключенъ газъ (азотъ). Это даетъ возможность измѣрять температуры (до 550° Ц.), которыя значительно выше температуры кипѣнія ртути подъ нормальн. давленіемъ (358°).

денъ въ § 165: насыщенный соляной растворъ кипитъ лишь около 108° Ц. Насыщая воду нѣкоторыми другими солями, можно получать растворы, температура которыхъ при кипѣніи еще гораздо выше; они часто употребляются какъ ванны для нагрѣванія тѣлъ до опредѣленныхъ температуръ выше 100° Ц.

Температуру кипящей жидкости нѣсколько измѣняютъ и тѣ тѣла, съ которыми жидкость соприкасается (напр. матерьялъ самаго сосуда), а также содержаніе въ ней воздуха. Отъ этихъ обстоятельствъ однако вовсе не зависитъ показаніе термометра, находящагося въ парахъ кипящей жидкости: вотъ почему „температурою кипѣнія“ считается именно температура, указываемая термометромъ въ парахъ жидкости во время ея кипѣнія.

Въ справочныхъ таблицахъ температуръ кипѣнія конечно должны быть указаны и давленія, при которыхъ онѣ опредѣлялись; если же о давленіи не упомянуто, то подразумѣвается нормальное (760 мм.).

432. Съ увеличеніемъ давленія температура кипѣнія жидкости все повышается. Нельзя-ли произвести на жидкость такое давленіе, чтобы она перестала превращаться въ паръ, какъ бы сильно ее не нагрѣвали? Опытъ отвѣчаетъ на это отрицательно. При достаточномъ повышеніи температуры жидкость обращается въ паръ, не смотря ни на какое давленіе; выше нѣкоторой опредѣленной для каждой жидкости температуры существованіе жидкости вообще становится невозможнымъ: существуетъ только ея паръ. Эта пограничная температура, называемая температурою безусловнаго или абсолютнаго кипѣнія, для воды 365° Ц., а для обыкновеннаго эфира (темп. кипѣнія котораго 35° Ц.) только около 190° Ц. Если стеклянную трубочку налить (несполна) эфиромъ и, удаливъ воздухъ, хорошо запаять конецъ, то при достаточномъ ея нагрѣваніи наступаетъ моментъ, когда граница, отдѣлявшая жидкій эфиръ отъ его паровъ, совершенно исчезаетъ.

Объ измѣненіи объема при переходѣ изъ одного состоянія въ другое.

433. Извѣстно, что ледъ на водѣ плаваетъ, т. е. что онъ легче воды. Отсюда слѣдуетъ, что ледъ занимаетъ

бóльшій объемъ, чѣмъ вода, изъ которой онъ произошелъ, и наоборотъ, что при переходѣ льда въ воду объемъ уменьшается. Измѣненіе объема довольно значительно: 10 объемныхъ частей воды происходятъ почти изъ 11 объемныхъ частей льду. Это не трудно замѣтить, заморозивъ въ пробиркѣ воду, объемъ которой былъ предварительно отмѣченъ.

Расширяясь при замерзаніи, вода можетъ производить огромныя давленія на препятствія. Если наполнить водою чугунную бомбу, задѣлать ее и заморозить воду, то бомба разрывается. Такъ, замерзая зимою въ трещинахъ скалъ, вода способствуетъ ихъ разрушенію.

Уменьшеніе объема при плавленіи наблюдается еще у нѣсколькихъ тѣлъ, напр. у чугуна: твердый чугунъ плаваетъ на расплавленномъ. Расширяясь при затвердѣваніи, чугунъ хорошо выполняетъ форму, служащую для его отливки.

Въ преобладающемъ же большинствѣ случаевъ объемъ тѣлъ при переходѣ изъ твердаго состоянія въ жидкое увеличивается: такъ воскъ, олово и др. тонутъ въ жидкости, которая образуется при ихъ расплавленіи.

Въ парообразномъ состояніи тѣло вообще занимаетъ—при обычныхъ давленіяхъ—гораздо большій объемъ, чѣмъ въ твердомъ или жидкомъ. Напр. объемъ водяныхъ паровъ при 100° Ц. слишкомъ въ 1600 разъ больше, чѣмъ той воды, изъ которой они произошли.

434. Слѣдуетъ замѣтить, что въ связи съ измѣненіемъ объема при переходѣ изъ одного состоянія въ другое находится то обстоятельство, что на температуру перехода оказываетъ вліяніе давленіе. По отношенію къ кипѣнію объ этомъ уже было сказано выше. Разница въ давленіи сказывается и на температурѣ перехода тѣлъ изъ твердаго состоянія въ жидкое; но измѣненіе температуры плавленія несравненно меньше, чѣмъ точки кипѣнія, и при перемѣнахъ атмосфернаго давленія едва уловимо; чтобы его наблюдать съ увѣренностью, нужно очень сильно сдавливать тѣло.

При этомъ найдено слѣдующее. Если тѣло при плавленіи увеличивается въ объемѣ (что обыкновенно и бываетъ), то усиленное давленіе повышаетъ точку плавленія,—какъ бы препятствуя переходу тѣла въ жидкое состояніе. Напр. парафинъ съ температурою плавленія 46° Ц. (при обыкновенномъ, т. е. атмосферномъ давленіи) плавится около 50°, если подвергнуть

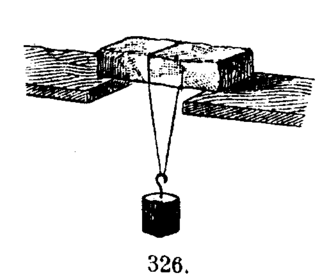
его давленію въ 100 атмосферъ. Воскъ, плавящійся при 64°, подъ давленіемъ въ 800 атмосферъ становится жидкимъ лишь около 80°.

Напротивъ, если тѣло при плавленіи уменьшается въ объемѣ, то усиленное давленіе понижаетъ точку плавленія, т. е. какъ бы содѣйствуетъ переходу въ жидкость. Такъ ледъ подъ давленіемъ около 130 атмосферъ плавится уже не при 0°, а при —1° Ц. Были производимы интересные опыты, при которыхъ громаднымъ давленіемъ удавалось понизить температуру плавленія льда значительно ниже —10° Ц. Для этого ледъ сдавливался дѣйствіемъ винтового пресса въ прочномъ стальномъ сосудѣ, который въ то же время подвергался охлажденію; металлическій цилиндрикъ, предварительно положенный на ледъ, оказывался послѣ опыта на днѣ сосуда. Слѣдовательно ледъ подъ сильнымъ давленіемъ плавился, хотя температура его при опытахъ доводилась до —18° Ц.

Извѣстно, что куски льда при сильномъ сдавливаніи соединяются въ одно цѣлое. Сильно сжимая толченый ледъ, можно получить изъ него сплошной прозрачный кусокъ любой формы. Этой податливости или „пластичности“ льда (которая въ большей или меньшей степени присуща всѣмъ твердымъ тѣламъ, § 125), надо полагать, способствуетъ и только что разсмотрѣнное его свойство: при сдавливаніи ледъ съ поверхности подплавляется, а образовавшаяся вода по прекращеніи давленія тотчасъ же замерзаетъ. Чѣмъ ниже температура льда, тѣмъ болѣе сильное давленіе нужно для его смерзанія.

Катающіеся на конькахъ хорошо знаютъ, что ледъ не достаточно скользокъ въ сильный морозъ. Объясняется это отчасти тѣмъ, что при температурѣ немного ниже 0° ледъ подъ конькомъ подплавляется, чего не происходитъ въ сильный морозъ, такъ какъ давленіе оказывается тогда недостаточнымъ.

Вотъ простой и интересный опытъ, основанный на свойствѣ льда плавиться подъ усиленнымъ давленіемъ ниже 0°. Чрезъ кусокъ льда, положенный концами на двѣ подставки (рис. 326), перекидываютъ петлей тонкую проволоку съ привязаннымъ къ ней грузомъ (изъ гирь или утюговъ). Проволока производитъ тогда сильное давленіе на ледъ, потому что вся тяжесть груза дѣйствуетъ на весьма малую поверхность ея соприкосновенія со льдомъ. Ледъ подъ проволокою плавится (такъ какъ опытъ производится въ комнатѣ, то температура его 0°), а образующаяся вода, освободившись надъ проволокой отъ давленія, тотчасъ же замерзаетъ. Такъ проволока мало-по-малу прорѣжетъ весь ледъ, не нарушивъ однако цѣлости куска.



326.

419. 1) Стержень изъ латуни (желтой мѣди) длиною въ 1 сажень при 0°, будучи нагрѣтъ до 100° Ц., удлиняется на 1,6 линіи. Какую долю первоначальной длины это составляетъ? На какую часть первоначальной длины, въ среднемъ, удлиняется латунный стержень при нагрѣваніи на 1° Ц.? *Отв.* 0,000019.—2) Относительное линейное расширеніе нѣкотораго тѣла на 1° Р. составляетъ 24 милліонныхъ; во сколько разъ оно превышаетъ линейное расширеніе желѣза (0,000012 *на 1° Ц.)? Отв.* $\frac{24 \cdot 4}{5 \cdot 12} = 8/5$.—**3)** Нѣкоторые коефиціенты линейнаго расширенія таблички перечислить на 1° Р.—**4)** Во сколько разъ относительное линейное расширеніе желѣза больше, чѣмъ платины? Льда—больше, чѣмъ стекла? —**5)** Если прямой стержень, состоящій изъ двухъ продольно-соединенныхъ желѣзнаго и мѣднаго, нагрѣть, то онъ изогнется; почему? Гдѣ будетъ мѣдь: съ выпуклой или вогнутой стороны стержня?—**6)** Если въ стѣнку стекляннаго сосуда вплавить мѣдную проволоку, то по охлажденіи будетъ ли проволока плотно прилегать къ стеклу? Какой изъ названныхъ въ табличкѣ металловъ болѣе всего подходитъ для этой цѣли?—**7)** Почему измѣненіе размѣровъ твердаго тѣла при перемѣнахъ температуры, не смотря на чрезвычайную его малость, имѣетъ большое значеніе въ природѣ и техникѣ? *Отв.* Потому что тѣло, расширяясь, можетъ производить огромныя давленія на препятствія. (См. § 140).—**420.** Насколько удлинится желѣзная телеграфная проволока между двумя телеграфными столбами, считая ихъ разстояніе = 60 м., при измѣненіи температуры отъ—20° Р. до + 30° Р.? *Отв.* на 4,5 см.—Насколько удлинился бы сплошной рельсовый путь въ 600 верстъ длиною (приблиз. длина николаевской ж. д.) при измѣненіи температуры отъ—25° Р. до + 30° Р.? *Отв.* Почти точно на 1/2 версты.—Стержень маятника при нагрѣваніи удлиняется, и маятникъ съ повышеніемъ температуры будетъ колебаться медленнѣе (часы съ маятникомъ будутъ отставать). Какъ составить стержень изъ нѣсколькихъ разныхъ металловъ, чтобы удлиненіе однѣхъ полосъ внизъ возмѣщалось удлиненіемъ другихъ вверхъ? („Уравнительный маятникъ“ хронометровъ).—**421 (419, 420).** 1) Фунтъ воды при 0° занимаетъ объемъ около 25 куб. дюйм. Каковъ будетъ объемъ фунта воды при 100° Ц.? *Отв.* Около 26 куб. д.—**2)** Сравнить между собою относительныя объемныя расширенія ртути и стекла. *Отв.* Объемное расширеніе стекла $25\frac{1}{2}$ милліонныхъ, а ртути 180 милліонныхъ, т. е. слишкомъ въ 7 разъ больше.—**3)** Мѣдный котелъ, наполненный до краевъ, вмѣщаетъ ведро воды (750 куб. д. или 30 ф.) при 0°. Сколько по вѣсу выльется воды, если котелъ съ водою нагрѣть до 100° Ц.? *Отв.* Вмѣстимость котла при 100° равна 750 + 750.0,000017.3.100 = 753,8 куб. д.; таковъ же объемъ воды, наполняющей котелъ при 100°. Но т. к. фунтъ воды при 100° занимаетъ объемъ въ 26 куб. д. (см. первый вопросъ этого §), то 753,8 куб. д. воды при 100° вѣсятъ

$\frac{753{,}8}{26}$ или 29 фунт. Слѣдов. воды выльется 1 фунтъ.—4) Если принять объемъ воды при 4° Ц. за 1, то ея объемъ при болѣе высокихъ температурахъ выразится слѣдующими числами:

при 15° . . 1,0009	при 50° . . 1,0120	при 95° . . 1,0394
„ 20° . . 1,0017	„ 55° . . 1,0144	„ 100° . . 1,0432

Какую долю объема при 4° составляетъ приростъ его на 1° для каждаго изъ приведенныхъ пятиградусныхъ промежутковъ? *Отв.* 0,00016; 0,00048; 0,00076. Расширеніе воды *неравномѣрно*, что въ большей или меньшей степени относится и до другихъ жидкостей, а равно и къ твердымъ тѣламъ.—5) Какова плотность воды при 100° сравнительно съ плотностью ея при 0°? (См. первый вопр. этого §). *Отв.* $^{25}/_{26}$ или 0,96.—**423**. 1) При какой температурѣ объемъ воздуха *удвоится* сравнительно съ его объемомъ при 0°, если дать воздуху расширяться при обыкновенномъ (атмосферномъ) давленіи? *Отв.* При 273° Ц.—Изъ колбы, хорошо прогрѣтой пламенемъ спиртовой лампы, выходитъ около половины содержавшагося въ ней воздуха; до какой слѣдов. температуры (приблиз.) нагрѣвается воздухъ въ колбѣ?—2) Насколько нужно нагрѣть взятый при 0° воздухъ, не давая ему расширяться, чтобы давленіе его увеличилось *вдвое* сравнительно съ первоначальнымъ (атмосфернымъ)?—3) Коефиціентъ расширенія воздуха ($^1/_{273}$ на 1° Ц.) перечислить на 1° Р. *Отв.* $^1/_{273} \times {}^5/_4 = {}^1/_{218}$.—4) 600 куб. см. воздуха, взятаго при 0°, послѣ нагрѣванія—при неизмѣнномъ давленіи—заняли объемъ 800 куб. см. Насколько градусовъ былъ нагрѣтъ воздухъ? *Отв.* Воздухъ расширился на $^1/_3$ своего первоначальнаго объема; слѣдов. онъ былъ нагрѣтъ на 91° Ц., такъ какъ $^{91}/_{273} = {}^1/_3$.—5) Склянка въ 500 куб. см. съ воздухомъ была прогрѣта въ парахъ кипящей воды, закупорена горячею и по охлажденіи въ ледяной водѣ опрокинута отверстіемъ въ воду и тогда откупорена. Въ колбу вошло 132 куб. см. воды. Считая, что температура нагрѣтаго воздуха была 100° Ц., а охлажденнаго 0°—и принебрегая расширеніемъ стекла—найти, на какую долю объема при 0° расширился воздухъ при нагрѣваніи до 100°. *Отв.* Объемъ воздуха при 0° былъ 500 — 132 = 368 куб. см., а при 100° равнялся 500 куб. см. Слѣдов. искомое расширеніе = $^{132}/_{368}$, или почти 0,36.—6) Сравнить между собою расширеніе в о з д у х а и с т е к л а (см. табл. § 419). *Отв.* Расширеніе воздуха почти въ 150 разъ больше объемнаго расширенія стекла.—7) Почему нагрѣваемый газъ производитъ на стѣнки закупореннаго сосуда гораздо меньшее давленіе, чѣмъ твердыя и жидкія тѣла на мѣшающую ихъ расширенію оболочку? Не связано ли это съ различною сжимаемостью тѣлъ дѣйствіемъ давленія?—**425**. Положимъ, что при провѣркѣ нулевой точки термометра въ тающемъ снѣгу ртуть остановилась на $+ {}^1/_2$°; если этотъ термометръ показываетъ въ комнатѣ 16°, то какова исправленная температура? Судя по сказанному въ этомъ § объ „остаточномъ“ сжатіи резервуара, какой термометръ

даетъ болѣе постоянныя показанія: только что изготовленный или старый?—Манометръ (рис. 323) сообщаютъ съ полымъ платиновымъ шарикомъ, вставляютъ послѣдній въ плавильный горнъ и опредѣляютъ давленіе нагрѣтаго воздуха, приведя объемъ его къ первоначальному (§ 422, 3). Если давленіе воздуха при 0° равнялось одной атмосферѣ, а при температурѣ горна 5 атмосферамъ, то какова была температура горна? *Отв.* Такъ какъ давленіе газа при постоянномъ объемѣ увеличивается на 1 атмосферу при нагрѣваніи на каждые 273° Ц., то возрастанію давленія на 4 атмосферы соотвѣтствуетъ температура въ 1000 слишкомъ градусовъ. (Въ дѣйствительности сколько-нибудь точное опредѣленіе температуры этимъ путемъ гораздо сложнѣе).—**430**. Положимъ, что термометръ Ц. въ парахъ кипящей воды показываетъ 100° при барометрическомъ давленіи въ 747 мм.; насколько ошибочно показаніе термометра? *Отв.* Термометръ показываетъ темп. кипѣнія почти на $^1/_2$° выше дѣйствительной.—Какова температура кипѣнія воды при среднемъ барометрическомъ давленіи въ мѣстности, лежащей на 900 м. выше уровня моря, если считать, что на каждые 100 м. поднятія барометрическое давленіе уменьшается на 9 мм.? *Отв.* Среднее давленіе, соотвѣтствующее высотѣ 900 м., на 81 мм. меньше 760; температура кипѣнія воды будетъ 97° Ц.—Какой вышины долженъ быть столбъ воды въ сосудѣ, чтобы температура кипѣнія воды у дна была на 1° Ц. выше, чѣмъ у поверхности? *Отв.* Высота столба воды при 100° Ц., соотвѣтствующая давленію въ 27 мм. ртути, равна $13{,}6 \cdot 27 \cdot \frac{26}{25}$ мм. (см. послѣдній вопр. § 421), или около 38 см., что немногимъ больше полуаршина.

XXV.

Расходованіе теплоты на плавленіе и испареніе. О парахъ и о сжиженіи газовъ.

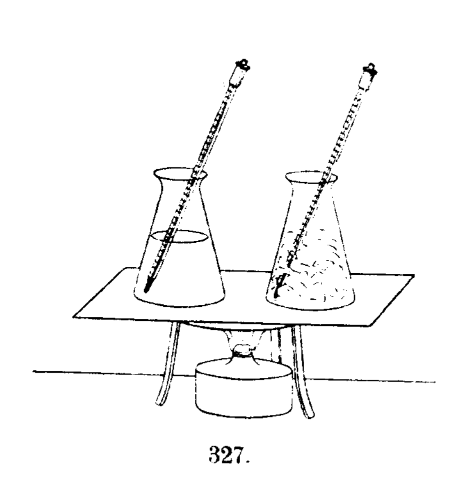
Поглощеніе теплоты при плавленіи и при раствореніи твердыхъ тѣлъ.

435*. Когда твердое тѣло нагрѣто до нѣкоторой температуры, называемой температурой его плавленія, тогда дальнѣйшій притокъ теплоты перестаетъ нагрѣвать его, а производитъ иное дѣйствіе: ослабляетъ взаимную связь части-

чекъ тѣла настолько, что онѣ пріобрѣтаютъ удобоподвижность, свойственную частичкамъ жидкости. Тѣло плавится — и на этотъ переходъ изъ твердаго состоянія въ жидкое расходуется, смотря по веществу, большее или меньшее количество теплоты.

О величинѣ теплового расхода на превращеніе льда въ воду можно заключить изъ слѣдующихъ наблюденій.

1) Если на плитку, которая поддерживается одинаково горячею (см. рис. 327), поставимъ два одинаковыхъ сосуда съ равными вѣс. количествами воды при 0° и толченаго льду при 0°, то вода будетъ нагрѣваться, а ледъ—плавиться, превращаясь въ воду той же температуры (0°). Когда весь ледъ растаетъ, и изъ него получится вода при 0°, тогда вода въ другомъ сосудѣ окажется довольно горячею: если бы не было потерь теплоты въ стороны, эта вода нагрѣлась бы на 80° по стоградусному термометру. Слѣдовательно на превращеніе льда при 0° въ воду той же температуры израсходовалось столько теплоты, сколько нужно для нагрѣванія равной массы воды на 80° Ц. (или массы вдвое большей—на 40°, вчетверо большей—на 20° и т. п.).


327.

2) Смѣшаемъ одинаковыя вѣс. количества снѣга (или толченаго льду) при 0° и воды при 80° Ц. Когда снѣгъ растаетъ, вода окажется очень холодною: если бы не было притока теплоты извнѣ, ея температура была бы 0°. Послѣ смѣшенія же двухъ одинаковыхъ массъ воды при 0° и 80° температура конечно была бы 40°. Все количество теплоты, потерянное водою при охлажденіи на 80° Ц., израсходовалось именно на расплавленіе равной массы снѣга.

Точными опытами найдено, что на **превращеніе килограмма льду при 0° въ воду той же температуры расходуется почти ровно 80 тепловыхъ единицъ (большихъ калорій).**

436. Значительный расходъ теплоты на превращеніе льда въ жидкое состояніе—причина, почему ледъ и снѣгъ вообще таютъ очень медленно. Кусокъ льду, внесенный въ комнату и уже успѣвшій принять температуру 0°, еще долго остается твердымъ и медленно превращается въ воду лишь съ поверхности. Въ ледникѣ, хорошо защищенномъ отъ наружнаго тепла, ледъ сохраняется, имѣя температуру 0°, бóльшую часть лѣта. Для превращенія льда въ воду достиженіе температуры 0° само по себѣ еще недостаточно: нуженъ притокъ значительнаго количества теплоты (80 единицъ на каждый килограммъ льда), которое можетъ быть лишь довольно медленно доставлено окружающими тѣлами. Благодаря этому обстоятельству, мы избавлены отъ страшныхъ наводненій, которыя неминуемо происходили бы весною, какъ только вся образовавшаяся зимою масса льда и снѣга нагрѣлась бы до 0°.

Для расплавленія другихъ тѣлъ теплоты расходуется меньше, чѣмъ для льда. Изъ металловъ напр. свинецъ требуетъ въ 15 разъ, а ртуть въ 29 разъ меньше, нежели ледъ.

437. Растворенiе твердаго тѣла въ жидкости, хотя оно и обусловливается взаимодѣйствіемъ двухъ соприкасающихся тѣлъ, твердаго и жидкаго, въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ сходно съ плавленіемъ. Растворяясь, твердое тѣло также переходитъ въ жидкое состояніе. И на этотъ переходъ тоже расходуется теплота, которая заимствуется (если нѣтъ другого источника) отъ самой же жидкости. Поэтому при раствореніи многихъ твердыхъ тѣлъ, напр. въ водѣ, наблюдается большее или меньшее охлажденіе [1]. Обыкновенная (столовая) соль, растворяясь въ водѣ, производитъ лишь незначительное охлажденіе. Селитра, нашатырь (мелко-истолченные) понижаютъ температуру гораздо сильнѣе. Еще болѣе сильное пониженіе температуры легко достигается раствореніемъ т. наз. азотно-

[1] Его можетъ не быть въ тѣхъ случаяхъ, когда растворяющееся тѣло вступаетъ съ водою въ химическое соединеніе: развивающаяся тогда теплота можетъ съ избыткомъ покрыть расходъ ея на раствореніе собственно (таковъ напр. былъ бы случай растворенія безводнаго мѣднаго купороса въ водѣ). Но охлажденія конечно можетъ не быть и при простомъ раствореніи, если послѣднее происходитъ очень медленно.

амміачной соли (въ продажѣ азотнокислый амміакъ): взявъ 3 вѣс. части этого вещества, истертаго въ мелкій порошокъ, на 5 ч. воды, получаютъ пониженіе температуры болѣе чѣмъ на 25 Ц.; слѣдовательно, взявъ воду достаточно холодную, можно получить температуру значительно ниже 0°. Окруженная этою холодною жидкостью вода (въ пробиркѣ) скоро замерзаетъ [1].

Извѣстно, что смѣсь снѣга съ обыкновенной солью даетъ холодъ значительно ниже 0°. Наибольшее пониженіе температуры (до—20° Ц.) получается при смѣшиваніи 1 вѣс. ч. мелко-истолченной соли съ 3 ч. снѣга. Теплота частью расходуется при этомъ на раствореніе соли въ снѣговой водѣ. Но кромѣ того снѣгъ, смѣшанный съ солью, таетъ быстрѣе чистаго снѣга, причемъ однако болѣе быстрое расходованіе теплоты не восполняется соотвѣтственно усиленнымъ притокомъ ея извнѣ. — Смѣшивая снѣгъ съ нѣкоторыми другими солями, можно достигать температуръ до—50° Ц. слишкомъ.

Развитіе теплоты при затвердѣваніи.

438. Теплота, исчезающая при переходѣ твердаго тѣла въ жидкое, расходуется на преодолѣніе внутреннихъ связей между частицами, т. е. на нѣкоторую работу внутри тѣла.

Вслѣдствіе этого частицы жидкости пріобрѣтаютъ нѣкоторый новый запасъ энергіи, котораго не имѣли частицы твердаго тѣла,—подобно напр. тому, какъ работа, затраченная на поднятіе груза, т. е. на преодолѣніе взаимнаго притяженія его и земли, увеличиваетъ работоспособность или энергію груза. Когда жидкость затвердѣваетъ, т. е. частицы тѣла возвращаются въ свое прежнее относительное положеніе, запасенная ими энергія снова порождаетъ всю теплоту, которая была израсходована на плавленіе, — соотвѣтственно тому, какъ энергія, запасенная поднятіемъ груза, въ моментъ его паденія на землю снова доставляетъ намъ работу, затраченную на поднятіе.

[1] Самый же растворъ остается жидкимъ: растворы вообще затвердѣваютъ при температурѣ болѣе низкой, чѣмъ чистая жидкость, служащая растворителемъ. (Морская вода напр. замерзаетъ лишь около—2° Ц.).

Для замораживанія воды, вмѣсто азотно-амміачной соли, можно брать болѣе дешевый нашатырь въ мелкомъ порошкѣ, а еще лучше—смѣсь порошковъ нашатыря и селитры въ равныхъ вѣс. количествахъ. Годится также употребляемый фотографами гипосульфитъ (сѣрноватисто-натріевая соль).

Развитіе теплоты при затвердѣваніи бываетъ всего нагляднѣе въ тѣхъ случаяхъ, когда жидкость затвердѣваетъ быстро и не при низкой температурѣ (какъ въ случаѣ образованія льда). Очень хорошо наблюдается явленіе надъ сѣрноватисто-натріевою солью („гипосульфитъ"). Въ кристаллахъ этого вещества содержится много воды, которая легко выдѣляется при нагрѣваніи и растворяетъ въ себѣ остающуюся соль: происходитъ т. наз. „пересыщенный" растворъ соли въ ея собственной „кристаллизаціонной" водѣ. Приготовивъ такой растворъ въ колбочкѣ (на стѣнкахъ ея не должно оставаться ни малѣйшихъ слѣдовъ твердой соли), хорошенько затыкаютъ ея горлышко чистой ватой и даютъ жидкости охладиться до комнатной температуры. Если теперь бросить въ нее крупинку сѣрноватистонатріевой соли, то растворъ быстро закристаллизовывается, твердѣетъ (самое разростаніе кристалловъ вѣтвями въ разныя стороны представляетъ очень красивое зрѣлище), и содержимое колбочки весьма замѣтно разогрѣвается. Мы имѣемъ здѣсь превосходный примѣръ развитія теплоты при переходѣ жидкости въ твердое состояніе—примѣръ того самаго явленія, которое происходитъ и при затвердѣваніи (замерзаніи) воды, но которое въ послѣднемъ случаѣ труднѣе обнаружить съ полною очевидностью [1].

Медленное замерзаніе воды, уже охладившейся до 0°, есть именно слѣдствіе того, что вода можетъ отвердѣть

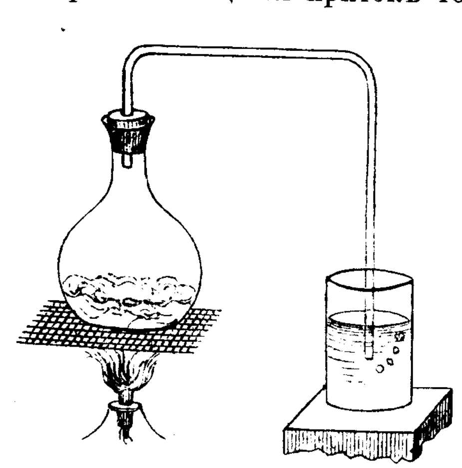
[1] Если охлаждать прокипяченную воду (напр. смѣсью снѣга съ солью или другими охлаждающими смѣсями) осторожно, не подвергая ее сотрясеніямъ, то можно понизить ея температуру значительно ниже 0° (удавалось достигать — 20° Ц.), и она не затвердѣетъ. Но эта „переохлажденная" вода быстро замерзаетъ, если сильно встряхнуть ее или бросить въ нее льдинку. Термометръ показалъ бы намъ тогда, что въ моментъ затвердѣванія происходитъ повышеніе температуры—именно отъ той, какую имѣла жидкость, до 0°.

не иначе, какъ отдавъ окружающимъ тѣламъ 80 большихъ калорій на каждой килограммъ образующагося льда,—что требуетъ (какъ и притокъ теплоты при таяніи) значительнаго времени. Это предохраняетъ органическую природу отъ гибельныхъ послѣдствій, которыя происходили бы въ случаѣ почти мгновеннаго замерзанія воды при первыхъ же зимнихъ холодахъ.

Расходованіе теплоты на испареніе.

439*. Чтобы выкипятить 1 килограммъ (т. е. немного менѣе 2½ ф.) воды — при обыкновенномъ атмосферномъ давленіи, т. е. когда вода и паръ имѣютъ температуру около 100° Ц., — требуется расходъ теплоты еще гораздо бóльшій, чѣмъ на превращеніе льда въ воду, именно 540 единицъ; такое количество теплоты могло бы слѣдов. нагрѣть 540 килогр. воды на 1° Ц., или 54 килогр. на 10°, или 5,4 килогр. на 100° Ц., т. е. 13½ ф. воды отъ 0° до кипѣнія. При обратномъ сжиженіи паровъ въ воду точно такое же количество теплоты выдѣляется. Большую „нагрѣвательную способность“ водяныхъ паровъ можно сдѣлать очевидною посредствомъ слѣдующаго опыта.

Въ колбѣ кипятятъ воду и проводятъ пары ея въ стаканъ съ водою (рис. 328). Кипящая вода, какъ мы знаемъ, все время сохраняетъ одну и ту же температуру, не смотря на продолжающійся притокъ теплоты: теплота эта тратится именно на превращеніе воды въ состояніе пара— на то, чтобы сдѣлать водяныя частицы еще гораздо болѣе удобоподвижными, нежели въ жидкой водѣ, и увеличить общій занимаемый ими объемъ слишкомъ въ полторы тысячи разъ. Въ стаканѣ, гдѣ паръ обращается въ воду, снова появляется теплота — въ количествѣ, израсходованномъ на парообразованіе,—и содержащаяся въ стаканѣ вода нагрѣвается.



328.

Конечно она нагрѣлась бы уже отъ того, что самый паръ имѣетъ температуру кипящей воды,—какъ еслибы къ водѣ въ стаканѣ была прибавлена вода при 100°. Но опытъ именно показываетъ, что нагрѣвательное дѣйствіе пара гораздо больше, нежели воды той же самой температуры; въ этомъ очень легко убѣдиться, если взять двѣ колбочки съ одинаковыми количествами воды комнатной температуры и въ одну изъ нихъ пропустить нѣкоторое количество паровъ кипящей воды, а въ другую—влить столько же граммовъ кипятку.

Положимъ, что 9 килогр. воды при 0° смѣшаны съ 1 кг. воды при 100°; тогда легко разсчитать, что мы получили бы 10 кг. воды при темпер. всего 10°. Между тѣмъ, если въ тѣ же 9 кг. воды съ первоначальной температурою 0° пропустить 1 кг. пара при 100° (т. е. 1 кг. воды, превращенной въ паръ), то получается 10 кг. воды, нагрѣтой до 64° (конечно, если бы не было потерь теплоты въ стороны). Разница происходитъ именно отъ того, что паръ, превращаясь въ воду той же самой температуры (100°), выдѣляетъ 540 единицъ теплоты на каждый килограммъ воды. Такимъ образомъ все количество теплоты, доставляемое при переходѣ килограмма горячаго пара въ воду при 0°, составляетъ 540+100, или 640 тепловыхъ единицъ; распредѣливъ ихъ на 10 кг. воды, мы и получимъ повышеніе температуры равное 64° Ц. [1].

Большою нагрѣвательною способностью водяного пара пользуются въ т. наз. паровомъ отопленіи зданій.

---

[1] Для приблизительнаго опредѣленія теплового расхода на превращеніе воды въ паръ при кипѣніи, можно прибѣгнуть къ слѣдующему наглядному и простому пріему. Нагрѣваютъ въ колбѣ воду (300—400 гр., отмѣрен. мензуркою) въ теченіе опредѣленнаго времени (5—10 мин.) и замѣчаютъ повышеніе ея температуры; отсюда находятъ, сколько калорій вода восприняла отъ пламени въ теченіе этого времени. Потомъ, доведя воду до кипѣнія, кипятятъ ее на томъ же пламени столько же времени и опредѣляютъ по убыли вѣса количество испарившейся воды. Считая, что и при кипяченіи вода получала отъ пламени ежеминутно столько же теплоты, какъ при нагрѣваніи (что конечно лишь приблизительно вѣрно), легко уже опредѣлить расходъ теплоты на каждый граммъ испарившейся воды. При нѣкоторой сноровкѣ, такъ получаются довольно удовлетворительные для перваго приближенія результаты.

Пары воды, образующіеся въ большомъ котлѣ съ топкою, проводятся по чугуннымъ трубамъ въ разныя части зданія: превращаясь въ воду, паръ отдаетъ стѣнкамъ трубъ много теплоты.

На парообразованіе при кипяченіи других ъ жидкостей тратится меньше теплоты, напримѣръ въ случаѣ виннаго спирта въ $2^1/_2$ раза, а ртути—въ 11 разъ меньше, чѣмъ для воды.

440*. Когда жидкость испаряется безъ того, чтобы ее нагрѣвали, какъ напр. вода и многія другія жидкости при комнатной температурѣ, то на парообразованіе тоже расходуется теплота, но здѣсь она доставляется окружающими предметами и прежде всего самою жидкостью. Если, какъ это обыкновенно бываетъ, расходъ теплоты на испареніе не успѣваетъ пополняться притокомъ ея извнѣ, то жидкость болѣе или менѣе охлаждается. Можно замѣтно охладить воду въ сосудѣ, если, обернувъ его мокрой тряпкой, выставить сосудъ на вѣтеръ, чтобы ускорить испареніе воды, пропитывающей тряпку. Расходованіе теплоты на парообразованіе становится прямо ощутительнымъ, когда ея источникомъ служитъ наша рука или другая часть нашего тѣла. Смочивъ руку водою, мы чувствуемъ охлажденіе, которое станетъ сильнѣе, если махать рукою по воздуху. Ощущеніе холода будетъ еще сильнѣе, если смочить руку какою-нибудь быстро улетучивающеюся жидкостью, напр. виннымъ спиртомъ или обыкновеннымъ эфиромъ.

Охлажденіе, производимое усиленнымъ испареніемъ эфира, таково, что имъ можно воспользоваться для искусственнаго замораживанія воды. Для этого обертываютъ нижнюю часть пробирки слоемъ ваты, наливаютъ въ пробирку немного холодной воды и, обильно смачивая вату (охлажденнымъ) эфиромъ, направляютъ на нее струю воздуха (махаютъ кускомъ папки): спустя нѣкоторое время вода охладится до 0° и станетъ замерзать.—Усиленное испареніе весьма летучихъ жидкостей, какъ увидимъ ниже, служитъ однимъ изъ пріемовъ искусственнаго полученія очень низкихъ температуръ.

Обратно, когда напр. водяные пары, содержащіеся въ атмосферномъ воздухѣ, переходятъ въ жидкое и твердое состояніе, теплота выдѣляется и нагрѣваетъ воздухъ. Если въ холодный зимній день начинаетъ идти густой снѣгъ, то воздухъ обыкновенно становится теплѣе—вслѣдствіе сгущенія на поверхности снѣжинокъ тѣхъ водяныхъ паровъ, которые въ маломъ количествѣ содержатся въ морозномъ воздухѣ.

Величина внутренней работы при плавленіи и испареніи.

441. Какъ много работы должно расходоваться на разъединеніе молекулъ при переходѣ тѣлъ изъ твердаго состоянія въ жидкое, показываетъ слѣдующее соображеніе. Желая превратить въ мелкій порошокъ даже мало прочное тѣло, мы затрачиваемъ значительное количество нашей мышечной или другой работы (толченіе сахара въ ступкѣ, размалываніе хлѣбнаго зерна жерновомъ). Но если подумаемъ, во сколько разъ совершеннѣе дробится тѣло при плавленіи, то легко поймемъ, что много теплоты, сообщаемой тѣлу, должно расходоваться на чисто механическую работу — на то, чтобы перемѣстить частицы въ сравнительно свободное положеніе, занимаемое ими въ жидкости, противъ тѣхъ молекулярныхъ связей, которыя прежде соединяли ихъ въ твердомъ тѣлѣ.

Зная количественное соотношеніе между теплотой и работой, легко вычислить, какой видимой работѣ равнозначна эта незамѣтная для насъ молекулярная работа. Тѣ 80 калорій теплоты, которыя тратятся на расплавленіе 1 килограмма льда, соотвѣтствуютъ работѣ въ 428×80 или около 34000 кг.-м. Представивъ ее въ видѣ 340×100 кг.-м. и принявъ во вниманіе, что 340 кг. составляютъ около 21 пуда, а 100 м. немного меньше 50 саж., мы видимъ, что работа противъ частичныхъ взаимодѣйствій при расплавленіи 1 кг. льда равнозначна работѣ поднятія груза въ 20 пуд. на высоту Исаакіевскаго собора.

Превращеніе тѣла въ паръ сопровождается при обычныхъ условіяхъ испаренія (подъ давленіемъ атмосфернаго воздуха) значительнымъ увеличеніемъ объема. Слѣдовательно, кромѣ внутренней работы — разъединенія частицъ — надо принять въ разсчетъ еще и работу, расходуемую на преодолѣніе внѣшняго давленія. Превращеніе кипящей (при 100° Ц.) воды въ паръ требуетъ въ общемъ расхода теплоты почти въ 7 разъ бóльшаго, чѣмъ плавленіе льда. Вычисленіе показываетъ, что при этомъ на внутреннюю работу идетъ не менѣе $^9/_{10}$ затрачиваемой энергіи; слѣдов. работа противъ частичныхъ взаимодѣйствій, расходуемая при испареніи 1 кг. воды при 100° Ц., эквивалентна работѣ поднятія слишкомъ 130 пудовъ на 50 саж.

Объ испареніи и условіяхъ перехода паровъ въ жидкое состояніе.

442. Если сообщеніе теплоты превращаетъ твердыя и жидкія тѣла въ паръ, т. е. въ состояніе газообразное, а от-

нятіе теплоты снова заставляетъ паръ принимать жидкое и твердое состоянія, то не естественно ли было ожидать, что и *газы* въ болѣе тѣсномъ смыслѣ—кислородъ, азотъ (слѣдов. воздухъ), водородъ, углекислый газъ и др. — тоже могутъ быть превращены въ жидкія и въ твердыя тѣла? Опытъ вполнѣ оправдалъ ожиданіе. Чтобы однако лучше понять нѣкоторыя стороны этого важнаго шага въ наукѣ, необходимо остановиться немного долѣе на испареніи и условіяхъ перехода паровъ въ жидкое состояніе.

Въ закрытомъ со всѣхъ сторонъ пространствѣ испареніе воды при комнатной температурѣ имѣетъ границу. Если мы вольемъ нѣсколько капель воды въ склянку и закупоримъ ее, то чрезъ нѣкоторое время быть можетъ вся вода испарится. Но, прибавляя воды и держа склянку закупоренной, мы замѣтимъ, что вода наконецъ перестаетъ превращаться въ паръ: количество ея не будетъ уменьшаться, какъ бы долго ни длилось наше наблюденіе. *Каждое закрытое пространство можетъ вмѣстить при данной температурѣ не болѣе нѣкотораго опредѣленнаго количества паровъ.* Когда это достигнуто, говорятъ, что пространство *насыщено* парами и самый паръ тоже называютъ *насыщеннымъ*; въ такомъ пространствѣ дальнѣйшее испареніе—при неизмѣнной температурѣ—прекращается. Во всякой закупоренной склянкѣ, даже далеко не наполненной, вода сохраняется жидкою, потому что пространство надъ нею скоро насыщается парами.

Чѣмъ теплѣе пространство, въ которомъ испаряется вода, тѣмъ большее количество паровъ оно можетъ вмѣстить: для насыщенія нѣкотораго пространства водяными парами потребуется тѣмъ больше воды, чѣмъ выше его температура. Воздухъ жаркой бани напр. можетъ вмѣстить гораздо большее количество парообразной воды, чѣмъ воздухъ обыкновенной жилой комнаты въ томъ же объемѣ.

Если мы имѣемъ нѣкоторое замкнутое пространство *съ достаточнымъ запасомъ воды*, то оно насытится парами и останется насыщеннымъ ими и при повышеніи температуры, потому что по мѣрѣ нагрѣванія будетъ происходить дальнѣйшее испареніе воды. Если это пространство станемъ охлаждать, то начнется обратный переходъ пара въ жидкую воду въ зависимости отъ пониженія температуры;

пространство опять-таки останется насыщеннымъ, хотя содержаніе воды въ немъ (при низкихъ температурахъ) можетъ быть и очень мало. Вообще можно считать замкнутое пространство при разныхъ температурахъ насыщеннымъ парами, если оно все время остается въ соприкосновеніи съ водою. Конечно рѣчь идетъ здѣсь о небольшомъ пространствѣ, напр. о сосудѣ, всѣ части котораго находятся въ одинаковыхъ условіяхъ.

Теперь представимъ себѣ закрытый сосудъ, въ которомъ имѣются, положимъ при 20°, водяные пары, *но нѣтъ воды въ жидкомъ состояніи.* Конечно и такое пространство можетъ быть насыщеннымъ, — если въ немъ содержится все то наибольшее количество парообразной воды, какое можетъ заключаться въ данномъ объемѣ при 20°. При меньшемъ же количествѣ воды пространство не будетъ насыщено парами. Однако можно сдѣлать его насыщеннымъ и не прибавляя воды, если въ достаточной мѣрѣ охладить его: вѣрнымъ признакомъ наступившаго насыщенія послужитъ образованіе жидкой воды. Напротивъ, при болѣе высокой температурѣ, напр. при 30°, то же пространство уже не будетъ насыщено, потому что содержитъ меньше паровъ, чѣмъ могло бы принять въ себя при 30°; нагрѣваніе до 40°, безъ прибавленія воды, еще болѣе удалитъ его отъ состоянія насыщенія. И т. д.

Явленія эти чрезвычайно напоминаютъ тѣ, которыя наблюдаются при *растворепіи твердаго тѣла въ жидкости.* Количество твердаго тѣла, насыщающаго данное количество жидкости, тѣмъ больше, чѣмъ выше температура. Если растворъ все время находится въ соприкосновеніи съ растворяющимся въ немъ твердымъ тѣломъ, то онъ остается насыщеннымъ при разныхъ температурахъ. При охлажденіи насыщеннаго раствора, часть растворѣннаго тѣла выдѣляется въ твердомъ видѣ,—тѣмъ бо́льшая, чѣмъ ниже температура. Если же нагрѣвать насыщенный растворъ въ отсутствіи твердаго тѣла, то онъ будетъ тѣмъ болѣе удаляться отъ состоянія насыщенія, чѣмъ температура будетъ выше.

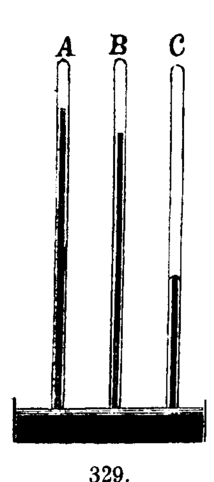
443. Но затѣмъ переходъ „насыщенныхъ“ паровъ въ „ненасыщенные“ и обратно связанъ съ *измѣненіемъ объема* того пространства, въ которомъ они содержатся,

а отсюда—съ **давленіемъ**. Уменьшая пространство, содержащее **ненасыщенные** водяные пары, т. е. сжимая ихъ, находятъ, что сперва **ихъ** давленіе, какъ и всякаго газообразнаго тѣла, увеличивается. (Чтобы не усложнять явленій, опыты производятся въ отсутствіи воздуха; температура предполагается постоянной). При достаточномъ сжатіи паръ станетъ **сжижаться**, и, начиная съ этого момента, дальнѣйшее уменьшеніе объема уже **не увеличиваетъ давленія**, потому что при всякомъ малѣйшемъ сжатіи часть пара перестаетъ быть паромъ, переходя въ жидкую воду. Наоборотъ, если мы имѣемъ въ закрытомъ сосудѣ пары вмѣстѣ съ избыткомъ воды, т. е. насыщенные, и станемъ **увеличивать** ихъ объемъ, то вода начнетъ испаряться, и пространство останется насыщеннымъ, пока еще есть жидкая вода; давленіе паровъ при этомъ **не измѣняется**, потому что расширеніе ихъ восполняется вновь испаряющеюся водою. Но когда вся вода превратится въ паръ, тогда увеличеніе объема пространства повлечетъ за собою разрѣженіе содержащагося въ немъ теперь ненасыщеннаго пара, и давленіе его будетъ становиться тѣмъ меньше, чѣмъ больше будетъ объемъ, — какъ и въ случаѣ газовъ.

Сказанное конечно относится не только къ водяному пару, но и къ парамъ другихъ жидкостей.

Быть можетъ не лишнее упомянуть, что давленіе паровъ измѣряется такъ же, какъ давленіе газовъ, — высотою того ртутнаго столба, какой можетъ быть поддержанъ этимъ давленіемъ, т. е. описаннымъ въ § 136 манометрическимъ пріемомъ.

444. Изслѣдуя **свойства паровъ въ отсутствіи воздуха**, пользуются барометрической (торричелліевой) трубкою со ртутью (§ 66). Если въ барометрическую пустоту ввести напр. каплю воды, то она быстро испарится, и давленіе образовавшагося пара заставитъ ртутный столбъ понизиться: по величинѣ пониженія (выражаемаго обыкновенно въ миллиметрахъ) и судятъ о давленіи пара. Впустивъ столько жидкости, чтобы часть ея осталась неиспарившеюся, получаютъ надъ ртутью пространство, насыщенное парами при данной температурѣ. Температуру пара и жидкости измѣняютъ, окружая барометрическую трубку тающимъ льдомъ, водою различной температуры, парами кипящей воды и т. п. На рис. 329 представлены, рядомъ съ **барометромъ** *A*, двѣ барометрическихъ трубки съ насыщенными при температурѣ около 20° Ц. парами воды (*B*) и обыкновеннаго эфира (*C*): давленіемъ



329.

водяного пара ртуть понижается противъ барометрическаго столба приблиз. на 17 мм., а эфирнаго приблиз. на 430 мм. (При соблюденіи масштаба, на рисункѣ пришлось бы пониженіе ртути въ *B* представить величиною въ 25 разъ меньшею чѣмъ въ *C*).



330.

Давленіе паровъ, **большее 1 атмосферы**, изслѣдуется въ запаянной съ одного конца изогнутой трубкѣ со ртутью, представленной на рис. 330. Въ запаянномъ концѣ *A* на поверхности ртути находится испытуемая жидкость, которая доводится до требуемой температуры; пары ея давятъ на ртуть, и разность высотъ ртути въ открытой и закрытой вѣтвяхъ трубки покажетъ, насколько давленіе паровъ превышаетъ атмосферное, т. е. то, какое во время наблюденія указывается барометромъ.

445*. Насыщенные пары различныхъ жидкостей при одной и той же температурѣ производятъ чрезвычайно различное давленіе, и съ перемѣнами температуры оно измѣняется тоже весьма неодинаковымъ образомъ. Вотъ нѣсколько примѣровъ.

Температура.		Давленіе насыщенныхъ паровъ. Воды.	Ртути.	Об. эфира.
— 10° Ц.		2,2 мм.		115 мм.
0°		4,6 „	0,01 мм.	184 „
+ 20°	(примѣрно комнатная).	17,4 „	0,02 „	433 „
100°		**760** „ (или 1 атмосфера).	0,3 „	6,5 атм.
150°		4,7 атм.	2,9 мм.	17,5 „
200°		15 „	18 „	
230°	(темп. плавленія олова).	27,5 „	—	
275°		59 „	—	
300°		86 „	242 „	
325°	(темп. плавленія свинца).	121 „		
350°		167 „		
365°	(темп. абсолют. кип. воды)	**200** „		

По поводу чиселъ этой таблички полезно замѣтить слѣдующее:

1) Давленіе паровъ, нагрѣваемыхъ въ замкнутомъ сосудѣ въ присутствіи достаточнаго количества жидкости, **возрастаетъ**

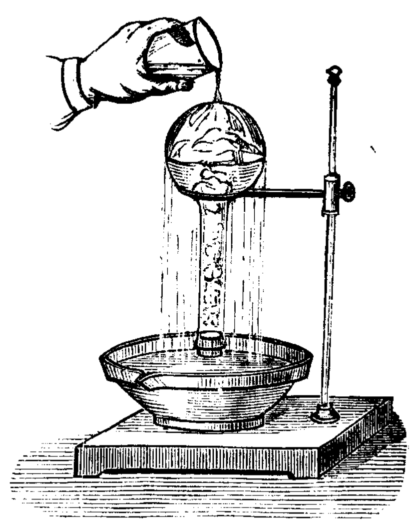
гораздо быстрѣе, чѣмъ давленіе какого-нибудь газа. Наприм. давленіе водяныхъ паровъ, равняющееся при 0° только 4,6 мм. ($^1/_{165}$ средняго атмосфернаго), при 100° достигаетъ уже цѣлой атмосферы, а при 275° Ц. равно 59 атмосферамъ, т. е. круглымъ счетомъ въ 9700 разъ больше, чѣмъ при 0°; между тѣмъ давленіе воздуха, нагрѣваемаго безъ расширенія отъ 0° до температуры около 275°, только удваивается (см. § 423 предыдущей главы). Эта разница тѣсно связана съ тѣмъ, что количество воздуха (газа) въ данномъ пространствѣ при нагрѣваніи остается прежнее, тогда какъ количество пара, вслѣдствіе продолжающагося испаренія жидкости, при повышеніи температуры значительно увеличивается (другими словами, сильно увеличивается плотность паровъ). Нагрѣвая пары вмѣстѣ съ водою въ котлахъ паровыхъ машинъ, легко достигаютъ необходимаго для движенія машины сильнаго давленія.

2) Давленіе въ 760 мм., или въ 1 атмосферу, достигается насыщенными водяными парами при той именно температурѣ, при которой вода кипитъ подъ атмосфернымъ давленіемъ въ 760 мм. Сравненіе съ табличкой температуръ кипѣнія воды (§ 430 пред. гл.) показываетъ, что вода вообще кипитъ при той температурѣ, при которой давленіе ея насыщенныхъ паровъ равно внѣшнему давленію. Это отчасти станетъ понятно, если вспомнить, что „кипѣніе" характеризуется испареніемъ жидкости въ самой ея массѣ, т. е. образованіемъ пузырей пара подъ поверхностью. Внѣшнее же давленіе противодѣйствуетъ образованію послѣднихъ: чтобы пузырь могъ образоваться, онъ долженъ нѣсколько приподнять поверхность жидкости противъ существующаго на нее давленія (оставляемъ въ сторонѣ вѣсъ самой жидкости и взаимное сцѣпленіе ея частицъ, которыя должны быть разъединены, чтобы уступить мѣсто пару). Поэтому образованіе пузырей пара внутри жидкости можетъ начаться только тогда, когда давленіе этого пара изнутри станетъ достаточнымъ, чтобы преодолѣть давленіе, производимое на поверхность жидкости.

3) Температура 365° Ц. есть температура абсолютнаго кипѣнія воды, а соотвѣтствующее ей давленіе— 200 атмосферъ. Выше этой степени тепла вообще не существуетъ жидкой воды, какъ бы велико не было давленіе.

Пользуясь тѣмъ, что давленіе насыщенныхъ водяныхъ паровъ тѣмъ меньше, чѣмъ ниже ихъ температура, можно произвести опытъ кипѣнія воды подъ уменьшеннымъ давленіемъ (§ 146) безъ помощи воздушнаго насоса. Вскипятимъ въ колбѣ (не очень тонкостѣнной) нѣсколько воды и будемъ поддерживать сильное кипѣніе нѣкоторое время, чтобы по возможности выгнать изъ колбы воздухъ. Затѣмъ, быстро и плотно закупоривъ колбу, опро-

кинемъ ее и установимъ на кольцѣ штатива (рис. 331). Мы тотчасъ же замѣтимъ, что вода продолжаетъ слабо кипѣть. Дѣло въ томъ, что водяные пары, охлаждаясь чрезъ прикосновеніе къ стѣнкамъ колбы, частью сгущаются въ жидкую воду, и давленіе ихъ на поверхность воды въ колбѣ уменьшается. Но охладимъ дно колбы еще сильнѣе, поливая его холодною водой: кипѣніе тотчасъ усилится. При тщательномъ опытѣ можно достичь того, что вода, даже охладившись до комнатной температуры, будетъ вскипать при обливаніи колбы ледяной водою.



331.

446. Послѣ сказаннаго вернемся еще разъ къ условіямъ перехода пара въ жидкое состояніе. Положимъ, что мы имѣемъ замкнутое пространство, объемъ котораго можно измѣнять напр. перемѣщеніемъ поршня. Если это пространство наполнено парами какой-нибудь жидкости въ присутствіи ея самой, т. е. насыщено паромъ, то малѣйшее охлажденіе или сдавливаніе произведетъ сгущеніе части пара въ жидкое состояніе. Иное будетъ въ случаѣ ненасыщеннаго пара. Придется сперва въ достаточной мѣрѣ понизить температуру или увеличить давленіе (или произвести то и другое вмѣстѣ), чтобы данное количество пара стало насыщать пространство: послѣ этого паръ уже будетъ, такъ сказать, готовъ сжижаться. Чѣмъ болѣе будетъ удаленъ паръ отъ состоянія насыщенія, тѣмъ значительнѣе надо будетъ понизить его температуру или повысить давленіе, чтобы онъ могъ перейти въ жидкое состояніе.

Достаточнымъ охлажденіемъ мы всегда сгустимъ паръ въ жидкость; но однимъ лишь увеличеніемъ давленія это не всегда можетъ быть достигнуто. Было уже упомянуто (§ 432), что выше нѣкоторой температуры, называемой температурою безусловнаго или абсолютнаго кипѣнія, жид-

кость во всякомъ случаѣ превращается въ паръ, какъ бы велико не было производимое на нее давленіе. Наоборотъ, выше этой температуры никакимъ давленіемъ не удается перевести паръ въ жидкое состояніе. Если напр. водяной паръ будетъ нагрѣтъ выше 365° Ц. или паръ эфира выше 190° Ц. (см. § 432), то такіе пары однимъ давленіемъ уже не могутъ быть превращены въ жидкость, хотя бы оно достигало нѣсколькихъ тысячъ атмосферъ; сжиженіе дѣйствіемъ давленія станетъ возможнымъ лишь по охлажденіи паровъ ниже температуры абсолютнаго кипѣнія жидкости.

О сжиженіи газовъ и жидкомъ воздухѣ; низкія температуры.

447*. Условія перехода газовъ въ жидкое состояніе, вообще говоря, тѣ же, что и паровъ. Нѣкоторые газы весьма легко сжижаются. Напр. сѣрнистый газъ (химическое соединеніе сѣры съ кислородомъ, образующееся при сгораніи сѣры въ кислородѣ или воздухѣ, см. § 178) превращается въ жидкость, если охладить его при обыкновенномъ атмосферномъ давленіи до—10° Ц. (т. е. по термом. Р. уже при восьмиградусномъ морозѣ) или сжать съ силою 2 атмосферъ, охладивъ до 0°.

Углекислый газъ сжижается труднѣе: или давленіемъ въ 36 атмосферъ при 0°, или охлажденіемъ до—80° Ц. при обыкновенномъ давленіи [1]. Сжижая газъ, его одновременно подвергаютъ и охлажденію, и сжатію въ желѣзной бутыли; въ такихъ бутыляхъ „жидкая углекислота“ и поступаетъ въ продажу. При открываніи крана бутыли,—въ которой давленіе при комнатной температурѣ разъ въ пять превышаетъ давленіе пара въ котлѣ паровоза,—изъ нея съ сильнымъ шумомъ выбрасывается струя жидкости, часть которой тотчасъ же испаряется, а остальная затвердѣваетъ, образуя сухую снѣгообразную массу: ее собираютъ, принимая струю въ свернутое толстое полотенце.—„Углекислый снѣгъ“ весьма замѣтно испаряется; если подержать комочекъ его на ладони или оставить на столѣ, то чрезъ нѣкоторое время онъ исчезнетъ: онъ прямо превращается въ углекислый газъ, не переходя чрезъ промежуточное жидкое состояніе. Температура этого снѣга около—60° Ц. Чтобы сплотить рыхлую массу (и еще понизить ея температуру), поливаютъ ее эфиромъ. Охлаждая тогда ею ртуть въ пробиркѣ, очень легко получить металлъ въ твердомъ видѣ (похожимъ на кусокъ серебра). Термометръ въ такой массѣ скоро опускается до—75° Ц. [1]. Сдавливаніе комка снѣжной массы между пальцами (въ особенности, если она смочена эфиромъ) производитъ ощущеніе боли, какъ при обжогѣ.

448*. Итакъ углекислый и сѣрнистый газы мы можемъ разсматривать какъ пары нѣкоторыхъ „очень летучихъ“ жидкостей. То, что было выше сказано о температурѣ абсолютнаго кипѣнія (§ 446), вполнѣ примѣнимо и здѣсь: выше нѣкоторой опредѣленной температуры газъ не можетъ быть превращенъ въ жидкость однимъ давленіемъ, какъ бы сильно послѣднее ни было; для углекислаго газа напр. она около + 31° Ц. Эта весьма замѣчательная для газовъ и жидкостей температура называется также критической температурой. Пока вещество имѣетъ температуру, которая ниже свойственной ему критической, оно бываетъ жидкимъ или газообразнымъ—въ зависимости отъ давленія; при температурѣ же выше критической оно можетъ быть только въ состояніи газа.

Едва ли нужно говорить, что температуры и давленія, при которыхъ разные газы сгущаются въ жидкость, различны въ высшей степени. Но есть нѣсколько газовъ—къ нимъ относятся напр. кислородъ, азотъ (воздухъ) и водородъ—критическая температура которыхъ особенно низка. Ихъ

[1] Этой степени холода лишь немного не достигаетъ низшая температура, наблюдавшаяся близъ земной поверхности (въ Верхоянскѣ, въ январѣ 1885 г.), именно около—75° Ц. На высотѣ 9 верстъ и болѣе въ 1905 г. самодѣйствующіе приборы въ С. Луи и въ Вѣнѣ отмѣтили температуры около—85° Ц. Слѣдовательно, если бы сюда былъ помѣщенъ въ сосудѣ углекислый газъ, подвергнутый нашему обыкновенному атмосферному давленію, то онъ тотчасъ превратился бы въ жидкость.

[1] Еще лучше растворять твердую углекислоту въ жидкости, называемой ацетономъ (пониженіе температуры, при надлежащихъ условіяхъ, достигаетъ тогда—100° Ц.). Для защиты отъ внѣшняго тепла ставятъ (тонкостѣнный) стаканъ въ другой и заполняютъ промежутокъ ватою. Температура опредѣляется термометромъ „для низкихъ температуръ“, содержащимъ жидкость, которая еще не затвердѣваетъ при этихъ условіяхъ.

долго не удавалось получить жидкими, пока старались достичь этого главнымъ образомъ усиленнымъ давленіемъ (доводя его до нѣсколькихъ тысячъ атмосферъ), — пока именно не стало извѣстнымъ существенное условіе, при которомъ вообще возможно превращеніе газа въ жидкость. Необходимо было охладить газъ ниже свойственной ему критической температуры. Какъ только это было сдѣлано, такъ наиболѣе упорные газы (называвшіеся „постоянными") одинъ за другимъ стали поддаваться настойчивости экспериментаторовъ — были получены въ жидкомъ состояніи.

Для достиженія очень низкихъ температуръ можно пользоваться охлажденіемъ, производимымъ быстро испаряющимися жидкостями (см. § 440). Берутъ жидкости, полученныя сперва чрезъ сгущеніе менѣе стойкихъ газовъ, и даютъ имъ быстро испаряться подъ уменьшеннымъ давленіемъ. Такъ достигаютъ температуръ достаточно низкихъ, чтобы сгустить, при содѣйствіи давленія, газы болѣе стойкіе, чѣмъ напр. углекислый. Получаются жидкости съ еще болѣе низкими температурами кипѣнія, и быстрое испареніе ихъ уже производитъ температуры необходимыя для сжиженія наиболѣе стойкихъ газовъ, каковы—изъ числа упомянутыхъ нами—водородъ и двѣ главныхъ составныхъ части воздуха, а слѣдовательно и самый воздухъ.

Другой способъ, практически болѣе примѣнимый, основывается на томъ, что при расширеніи газа совершается нѣкоторая внутренняя работа (§ 426), на которую расходуется теплота. Поэтому напр. быстро расширяющійся воздухъ охлаждается, даже если онъ не производитъ внѣшней работы, т. е. расширяется безъ всякаго противодѣйствія извнѣ. Помощью остроумныхъ приспособленій этимъ путемъ удается достигать очень низкихъ температуръ.

Жидкій воздухъ начинаетъ кипѣть (подъ обыкновеннымъ атмосфернымъ давленіемъ) при температурѣ около —190° Ц., а температура кипѣнія жидкаго водорода около—250° Ц. [1]. Достаточно понижая температуру, удалось получить эти тѣла и въ твердомъ видѣ. Всего труднѣе сгущается въ жидкость гелій (объ этомъ газѣ упоминалось выше, § 346): для его сжиженія подъ обыкновеннымъ давленіемъ необходима температура около—$268^1/_2$° Ц., самая низкая до сихъ поръ полученная.

[1] Любопытна чрезвычайно малая плотность жидкаго водорода: она оказалась всего 0,07, т. е. въ 14 разъ меньше плотности воды.

449*. Чтобы дать хотя нѣкоторое понятіе объ интересныхъ явленіяхъ, наблюдаемыхъ при столь низкихъ температурахъ, опишемъ нѣсколько опытовъ съ жидкимъ воздухомъ.

Жидкій воздухъ, вытекающій изъ аппарата, въ которомъ производится сжиженіе, по внѣшнему виду напоминаетъ собою воду съ примѣсью молока: бѣлая муть происходитъ отъ плавающихъ въ жидкости частичекъ твердой углекислоты (ибо для сгущенія берется обыкновенный атмосферный воздухъ, содержащій примѣсь углекислаго газа). Отдѣливъ эти частички процѣживаніемъ (фильтрованіемъ) сквозь цѣдилку изъ пропускной бумаги (см. рис. 332), получаютъ жидкость прозрачную и почти безцвѣтную, какъ чистая вода. Попадая въ стаканъ, она сильно вскипаетъ, какъ бы прикасаясь къ горячему предмету: можно дѣйствительно сказать, что по сравненію съ этою холодною жидкостью стаканъ является „горячимъ" тѣломъ, такъ какъ его температура (комнатная) слишкомъ на 200° Ц. выше температуры жидкаго воздуха. Съ теченіемъ времени жидкость принимаетъ явственный голубой цвѣтъ: таковъ именно цвѣтъ сжиженнаго кислорода, которымъ жидкость мало по малу обогащается, ибо ея азотъ испаряется быстрѣе кислорода. Капля жидкаго воздуха, брошенная на столъ, бѣгаетъ по нему, какъ капля воды на горячей плитѣ,—постепенно испаряясь, т. е. превращаясь въ обыкновенный газообразный воздухъ. Точно также бѣгаетъ



332.

жидкій воздухъ по водѣ, причемъ послѣдняя замерзаетъ съ поверхности.—Разожженный уголь продолжаетъ горѣть въ жидкомъ воздухѣ, причемъ, вслѣдствіе низкой температуры жидкости, вмѣсто *углекислаго газа*, образуются бѣлыя хлопья *углекислаго снѣга*.

Физическія свойства многихъ твердыхъ тѣлъ поразительно измѣняются при столь низкихъ температурахъ. *Резиновый мячикъ*, полежавшій въ жидкомъ воздухѣ, *дѣлается хрупкимъ какъ стекло* — разбивается при ударѣ на мелкіе куски. (Согрѣвшись, они пріобрѣтаютъ прежнія свойства резины). Охлажденная въ жидкомъ воздухѣ спираль изъ *свинцовой* проволоки временно пріобрѣтаетъ упругость пружины; свинцовый колокольчикъ начинаетъ *звонить*.

Каково можетъ быть дѣйствіе столь холодной жидкости на наше тѣло? Опытъ показываетъ, что въ нее можно на короткое время погружать пальцы и даже вылить ее на руку, причемъ лишь ощущается какъ бы легкій уколъ крапивою. Но болѣе продолжительное и тѣсное соприкосновеніе съ кожей производитъ боль, волдыри и вообще явленія сильнаго ожога [1].

---

450. Изъ предыдущаго ясно, что *теплота есть дѣятель, который оказываетъ рѣшающее вліяніе на состояніе тѣлъ*. Разнообразныя послѣдовательныя измѣненія, производимыя сообщеніемъ тѣлу теплоты, а равно расходъ ея на эти измѣненія, хорошо прослѣживаются на слѣдующемъ примѣрѣ. Возьмемъ килограммъ льду при—20° Ц. и положимъ, что ему непрерывно сообщается теплота. Разсмотримъ по порядку явленія, которыя произойдутъ.

1) Ледъ при—20° есть твердое камнеподобное тѣло, которое, какъ всякое другое, сперва будетъ нагрѣваться, пока его температура не достигнетъ точки плавленія, условнаго нуля термометрическихъ шкалъ Ц. и Р. Для повышенія температуры килограмма льда на 20° Ц. потребуется около 10 большихъ калорій (т. к. теплоемкость льда около 0,5, см. § 401).

[1] Уменьшая давленіе, можно понизить температуру кипѣнія жидкаго воздуха еще значительно ниже—190°. Стеклянный сосудъ, въ которомъ кипитъ воздухъ подъ малымъ давленіемъ, сперва конечно покрывается инеемъ; но скоро съ его внѣшней поверхности начинаетъ стекать *струйка жидкости—сгущающійся въ жидкость наружный воздухъ*.

2) По достиженіи температуры 0° ледъ начнетъ плавиться, и на расплавленіе килограмма льда, безъ повышенія температуры образующейся воды, израсходуется 80 большихъ калорій (§ 435).

3) Затѣмъ на нагрѣваніе килограмма воды отъ 0° до 100° Ц. (положимъ, что водѣ не даютъ испаряться раньше кипѣнія и что давленіе нормальное) пойдетъ около 100 калорій (не ровно 100—потому, что теплоемкость воды нѣсколько увеличивается съ повышеніемъ температуры см. конецъ § 402).

4) Нагрѣвшись до 100°, вода закипитъ, и для превращенія килограмма ея въ паръ при 100° израсходуется 540 калорій (§ 439).

5) Когда вся вода выкипитъ, мы будемъ имѣть—въ соотвѣтствующемъ помѣщеніи, объемъ котораго при нормальномъ давленіи долженъ быть нѣсколько больше 1½ куб. метровъ,—насыщенный водяной паръ при 100° Ц. (§ 442). При дальнѣйшемъ сообщеніи теплоты этотъ паръ будетъ нагрѣваться, удаляясь отъ состоянія насыщенія, и можно опять опредѣлить, сколько тепловыхъ единицъ пойдетъ на его нагрѣваніе. Опытъ именно показываетъ, что горячій водяной паръ, самъ по себѣ, требуетъ для нагрѣванія приблизительно *вдвое меньше теплоты*, чѣмъ одинаковое вѣс. количество жидкой воды.

6) По мѣрѣ нагрѣванія (какъ предполагается, въ отсутствіи воды) паръ все болѣе и болѣе удаляется отъ насыщеннаго состоянія, и потребовалось бы все большее и большее давленіе, чтобы сгустить его въ жидкую воду. Выше 365° Ц. водяной паръ уже не удастся обратить въ жидкость никакимъ давленіемъ (§ 446).

7) При достаточно высокой температурѣ водяной паръ претерпѣваетъ *химическое измѣненіе*—начинаетъ разлагаться на водородъ и кислородъ (§ 179), и чѣмъ выше температура, тѣмъ большая часть газообразной воды разлагается на составныя части; полное разложеніе достигается лишь при температурѣ бѣлокалильнаго жара. На это дѣйствіе *расходуется огромное количество теплоты*, а именно свыше 3000 тепловыхъ единицъ на каждый килограммъ водяного пара.

8) Наконецъ дальнѣйшее сообщеніе теплоты раскаленнымъ водороду и кислороду опять стало бы повышать ихъ температуру.

Обратно, сильно раскаленные водородъ и кислородъ, взятые въ томъ количественномъ отношеніи, въ какомъ они образуютъ воду (т. е., въ округленныхъ числахъ, 1:8 по вѣсу или 2:1 по объему), дали бы, при надлежащемъ пониженіи температуры, сперва горячій водяной паръ, потомъ жидкую воду и т. д., въ порядкѣ обратномъ разобранному выше. И такое же точно количество теплоты, какое было израсходовано въ первомъ ряду превращеній, выдѣлилось бы во второмъ.

Мы не знаемъ всего запаса теплоты, содержащагося въ тѣлѣ, потому что не имѣемъ средствъ от-

нять отъ тѣла всю его теплоту. Какъ бы низка не была температура тѣла, можно еще понизить ее: слѣдовательно тепловой запасъ тѣла остается неисчерпаннымъ вполнѣ. Впрочемъ пониженіе температуры, по всей вѣроятности, имѣетъ границу; но эта граница—называемая въ физикѣ **абсолютнымъ нулемъ температуры**—еще не достигнута.

---

435. Если 2 кг. воды при 100° Ц. смѣшать съ 1 кг. льду при 0°, весь ли ледъ растаетъ? Какова будетъ окончательная температура воды? *Отв.* 40° Ц.—Какова была бы окончательная температура послѣ смѣшенія 2 кг. воды при 100° Ц. съ 1 кг. *воды* при 0°? *Отв.* $66^2/_3$°.—**439.** Сколько килогр. льду (при 0°) можетъ быть расплавлено тѣмъ количествомъ теплоты, которое развивается при переходѣ 1 килогр. водяного пара (при 100° Ц.) въ *воду при* 0°? *Отв.* (540 + 100) : 80 = 8 кг.—Сколько всего тепловыхъ единицъ нужно сообщить 1 килограмму *льда при* —20° Ц., чтобы превратить его въ *паръ стоградусной температуры?* (Теплоемкость льда около 0,5). *Отв.* 10+80+100+540=730.—При сгораніи 1 кг. водорода, если образующаяся при этомъ вода получается въ жидкомъ видѣ, развивается около 34000 б. калорій. Какая разница будетъ, если вода будетъ оставаться парообразной? *Отв.* Теплоты выдѣлится меньше—настолько, сколько калорій нужно для превращенія 9 килогр. жидкой воды въ паръ (именно 9×540 б. калорій при 100° Ц.).—**440.** Почему на вѣтру мы чувствуемъ холодъ особенно въ тѣхъ частяхъ поверхности нашей кожи, которыя покрыты испариной? — Отчего появленіе испарины доставляетъ намъ облегченіе въ жаркую погоду?—**445.** Термометръ въ парахъ воды, кипящей при среднемъ давленіи на вершинѣ Монблана, показываетъ 84° Ц. Изъ какихъ таблицъ можно было бы отсюда найти величину самаго давленія? (См. также § 430).—Можно ли всасывающимъ водянымъ насосомъ поднять *кипящую* воду?—**447** до **449.** Давленіе газа въ бутыли съ жидкой углекислотою при комнатной температурѣ 50 слишкомъ атмосферъ. Съ силою сколькихъ кг./кв. см. и пуд./кв.д. давитъ при этомъ газъ на внутреннія стѣнки сосуда? (См. стр. 76 и §§ 71, 136). *Отв.* При 50 атмосферахъ 51,5 кг./кв. см. или почти $20^1/_2$ пуд./кв. д.—Жидкій воздухъ, сохраняемый въ *незакупоренномъ* сосудѣ, остается *при очень низкой температурѣ*, хотя окружающая его комнатная температура слишкомъ на 200° Ц. выше. Почему? Что было бы съ температурою, если бы сосудъ былъ плотно закупоренъ? (Для сравненія представимъ себѣ *воду* въ сосудѣ, помѣщенномъ въ печь, температура которой на много градусовъ превышаетъ температуру кипѣнія воды подъ обыкновеннымъ давленіемъ).—Можно ли въ плотно закупоренномъ (достаточно крѣпкомъ) сосудѣ сохранять *жидкій* воздухъ при обыкновенной температурѣ, какъ напр. сохраняютъ жидкую углекислоту?

(Слѣдуетъ имѣть въ виду, что критическая температура углекислаго газа + 31° Ц., а воздуха значительно ниже—100° Ц.).

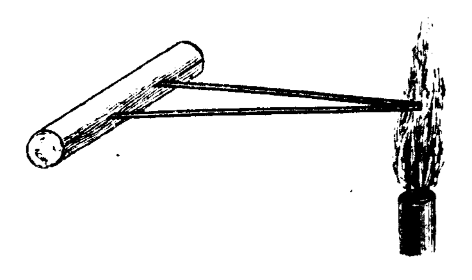
Воздухъ переходитъ въ жидкое состояніе, подъ обыкновеннымъ давленіемъ, около—190° Ц., а въ твердое около—215° Ц. Если бы это были обычныя температуры нашего существованія, то какою, сравнительно съ ними, должна была бы намъ казаться температура тающаго льда?

XXVI.

Распространеніе теплоты: теплопроводность, тепловыя теченія въ жидкостяхъ и газахъ, лучеиспусканіе.—Прибавленіе: о паровыхъ машинахъ.

Различная теплопроводность тѣлъ.

451. Нагрѣвая тѣло въ одномъ мѣстѣ, мы обыкновенно замѣчаемъ, что и сосѣднія его части становятся теплѣе,—что **теплота распространяется** по тѣлу отъ болѣе нагрѣтой части къ менѣе нагрѣтымъ. При этомъ легко подмѣтить, что одни тѣла прогрѣваются скорѣе, другія медленнѣе. Если одинъ конецъ короткой металлической проволоки внести въ огонь, держа его за другой, то скоро и этотъ конецъ сдѣлается горячимъ. Напротивъ, горящую спичку мы свободно держимъ въ рукѣ даже тогда, когда пламя почти достигло пальцевъ; размягчая въ огнѣ стеклянную трубку, мы можемъ, не обжигаясь, держать ее довольно близко отъ нагрѣваемаго мѣста. Поэтому металлы мы называемъ хорошими „проводниками“ теплоты, а дерево, стекло и т. п. худыми. И тѣ, и другіе представляютъ опять значительныя разницы въ быстротѣ прогрѣванія, какъ видно



333.

напр. изъ слѣдующаго опыта по отношенію къ металламъ. Въ горизонтально укрѣпленный кусокъ восковой свѣчи втыкаютъ (заостроенными концами) двѣ проволоки одинаковыхъ размѣровъ — мѣдную и желѣзную; свободные концы проволокъ сводятъ вмѣстѣ и нагрѣваютъ въ пламени (рис. 333). Мѣдная проволока прогрѣвается и выпадаетъ изъ воска гораздо скорѣе желѣзной.

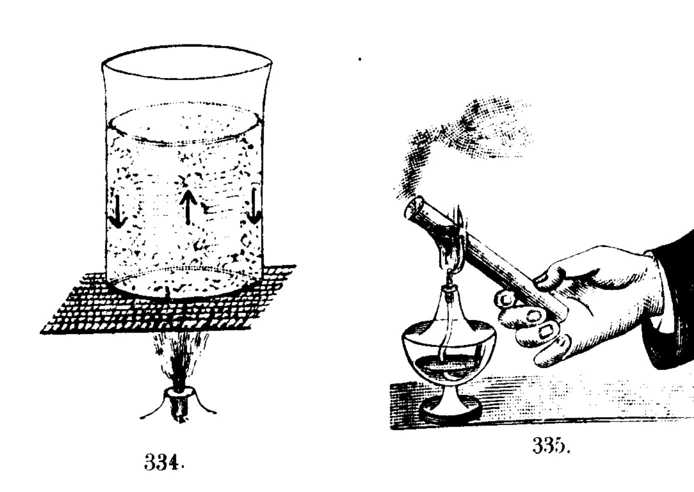
452*. Однако бóльшая или меньшая быстрота прогрѣванія тѣла зависитъ не только отъ той или иной способности его „проводить" теплоту, но и отъ другихъ обстоятельствъ. Представимъ себѣ напр. два бруска одинаковыхъ размѣровъ изъ различныхъ металловъ, и пусть одинъ конецъ каждаго изъ нихъ нагрѣвается въ пламени до одной и той же температуры. Положимъ, что бруски отличаются между собою „теплоемкостью" (§ 401) или плотностью метерьяла. Въ случаѣ различной теплоемкости, тотъ изъ брусковъ конечно станетъ—при прочихъ равныхъ условіяхъ—прогрѣваться быстрѣе, котораго матерьялъ требуетъ меньшаго количества теплоты для нагрѣванія на одно и то же число градусовъ. При различной плотности, тотъ изъ брусковъ, котораго плотность меньше, будетъ содержать въ себѣ меньшее количество матерьяла и слѣдов. (опять при одинаковости прочихъ условій) будетъ прогрѣваться быстрѣе. (Есть и другія усложняющія дѣло явленія). Поэтому, чтобы составить себѣ правильное понятіе о сравнительной „теплопроводности" тѣлъ, необходимо исключить вліяніе постороннихъ обстоятельствъ.

Положимъ, что одинъ конецъ бруска находится въ парахъ кипящей воды, а другой соприкасается со льдомъ при 0°, и что боковыя стороны бруска защищены отъ потери и притока тепла какою нибудь очень плохо проводящей теплоту оболочкой. По истеченіи достаточнаго времени прогрѣваніе бруска закончится: температура въ разныхъ его частяхъ перестанетъ повышаться. Слѣдов. разница въ теплоемкости или плотности матерьяла бруска уже не будетъ имѣть значенія. Вся та теплота, которая принимается брускомъ отъ паровъ, будетъ передаваться льду, и по количеству растаявшаго льда можно будетъ судить о количествѣ переданной брускомъ теплоты. Оказывается напр., что въ то время, когда серебряный брусокъ передастъ 100 какихъ либо тепловыхъ единицъ, мѣдный брусокъ одинаковыхъ размѣровъ, при той же разности температуръ двухъ его концовъ, передастъ 74 единицы, желѣзный 12, а стеклянный лишь около $^{1}/_{10}$ единицы. Вотъ числа, показывающія намъ относительную теплопроводность названныхъ тѣлъ.

Металлы всего лучше проводятъ теплоту, а изъ нихъ наибольшею теплопроводностью отличаются серебро и мѣдь. Теплопроводность стекла, дерева и вообще неметаллическихъ

тѣлъ гораздо меньше. Дерево проводитъ теплоту вдоль волоконъ лучше, нежели поперекъ.

453. Обратимся теперь къ жидкостямъ и газамъ. Распространеніе теплоты при нагрѣваніи жидкостей и газовъ еще усложняется тѣмъ, что ихъ частицы, будучи удобоподвижными, тотчасъ начинаютъ перемѣщаться, какъ только температура въ одномъ и томъ же горизонтальномъ слоѣ сдѣлается неодинаковою. Если въ большомъ (тонкостѣнномъ) стаканѣ нагрѣвать на огнѣ воду, къ которой примѣшаны какой-нибудь легкій порошокъ или краска, то можно замѣтить, какъ порошинки или краска — конечно вмѣстѣ съ жидкостью — поднимаются надъ болѣе нагрѣтою


334. 335.

частью и опускаются вдоль стѣнокъ (рис. 334). Появленіе этихъ водяныхъ токовъ очевидно есть слѣдствіе того, что вода, нагрѣвшись, становится относительно легче и вытѣсняется водою болѣе холодной, т. е. болѣе тяжелой. Нѣчто совершенно сходное бываетъ и въ воздухѣ, если температура его на протяженіи одного и того же горизонтальнаго слоя различна.

Чтобы судить о теплопроводности жидкостей и газовъ, надо нагрѣвать ихъ, не давая возникать теченіямъ. Если въ длинной пробиркѣ нагрѣвать воду не снизу, какъ это обыкновенно дѣлается, а сверху (рис. 335), то можно довести верхніе слои воды до кипѣнія въ то время, какъ нижніе останутся холодными. Нагрѣваніе сверху устраняетъ

именно возможность образованія водяныхъ токовъ, способствующихъ болѣе быстрому распространенію теплоты по всей массѣ жидкости, и тогда вода оказывается дурнымъ проводникомъ теплоты.

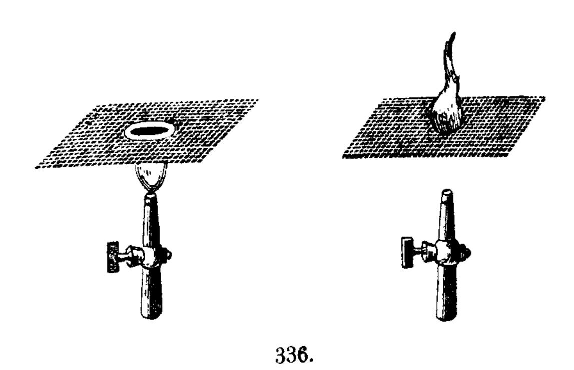
При обыкновенныхъ условіяхъ мы знаемъ только одну металлическую жидкость—ртуть, и она, какъ металлъ, является сравнительно хорошимъ проводникомъ теплоты; всѣ же другія жидкія при обычныхъ условіяхъ тѣла относятся къ дурнымъ проводникамъ.

Воздухъ, нагрѣваемый съ соблюденіемъ указанной предосторожности (т. е. при отсутствіи теченій), является очень дурнымъ проводникомъ теплоты, въ особенности, если онъ сухъ. Изъ газовъ, вообще очень плохихъ проводниковъ теплоты, наибольшею теплопроводностью отличается водородъ.

454*. Въ повседневной жизни мы постоянно пользуемся худыми проводниками теплоты, какъ средствомъ замедлять выравниваніе температуръ. „Теплая“ одежда, изготовляемая именно изъ дурныхъ проводниковъ теплоты (напр. тканей изъ плохо проводящаго матерьяла, содержащаго кромѣ того въ своихъ скважинахъ много воздуха), защищаетъ насъ отъ внѣшняго холода тѣмъ, что замедляетъ отдачу нашего тепла наружу. Желая предохранить нагрѣтый предметъ отъ быстраго остыванія, мы покрываемъ или обвертываемъ его плохими проводниками теплоты: чайникъ съ горячей водою долго остается горячимъ, если помѣстить его между двухъ подушекъ или завернуть въ войлокъ. Ледъ, сохраняемый лѣтомъ въ погребахъ, окружаютъ дурными проводниками (соломой, землею), замедляющими доступъ теплоты снаружи. Когда мы беремъ въ руки горячій предметъ, мы для защиты отъ обжога помѣщаемъ между предметомъ и рукою тѣло, плохо проводящее теплоту. Малая теплопроводность воздуха находитъ примѣненіе въ устройствѣ двойныхъ рамъ. И т. п. — Различіемъ въ теплопроводности объясняется и то всѣмъ извѣстное явленіе, что разные предметы въ комнатѣ кажутся не одинаково теплыми на ощупь, хотя бы температура ихъ была и одинакова (такова обыкновенно температура предметовъ, находящихся въ комнатѣ по сосѣдству одинъ отъ другого). Именно металлическіе предметы, какъ хорошіе проводники, быстрѣе отнимаютъ

теплоту отъ поверхности нашего тѣла (руки), чѣмъ дерево, бумага, шерсть, а потому и производятъ ощущеніе относительнаго холода[1]. Напротивъ, если разные предметы будутъ нагрѣты выше температуры нашего тѣла, такъ что при соприкосновеніи съ ними рука наша будетъ получать отъ нихъ теплоту, то металлическіе покажутся теплѣе. (Извѣстно между прочимъ, что о горячій металлическій предметъ скорѣе можно обжечься, чѣмъ о деревянный, нагрѣтый до той же самой температуры).

Въ гл. XI (§ 184) было разъяснено, что горѣніе можетъ продолжаться само собою только тогда, когда химически соединяющіяся тѣла поддерживаются при достаточно высокой температурѣ. Внося въ пламя хорошій проводникъ теплоты, можно настолько охладить горящіе газы, что горѣніе не въ состояніи будетъ продолжаться. Если напр. пламя горящаго газа (или бензинной горѣлки) покрыть частой мѣдной сѣткою, то оно не пройдетъ сквозь сѣтку, пока послѣдняя не накалится. Наоборотъ, можно зажечь газъ (или бензинные пары) надъ сѣткою, и пламя не проникнетъ подъ нее (рис. 336).

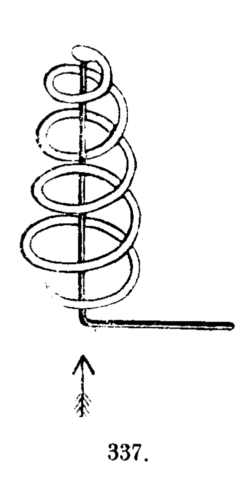

336.

Теченія въ воздухѣ и водѣ, обусловленныя разницами температуры.

455*. Въ комнатѣ, части которой не одинаково теплы, воздухъ постоянно перемѣщается. Напр. около натопленной печки онъ поднимается къ потолку, вытѣсняемый болѣе плотнымъ воздухомъ, который притекаетъ по-низу отъ менѣе теплыхъ частей комнаты (наружныхъ стѣнъ, оконъ). Съ по-

[1] Если плотно охватить рукою достаточно большой гладкій кусокъ желѣза или мѣди, имѣющій комнатную температуру, то получается ощущеніе, не очень отличающееся отъ прикосновенія къ комку снѣга.

мощью змѣйки, сдѣланной изъ тонкой бумаги и укрѣпленной подвижно на остріѣ (рис. 337), можно обнаружить существованіе тока теплаго воздуха, струящагося вверхъ вдоль стѣнъ печи, какъ еслибы на змѣйку дули снизу. Если подносить пламя свѣчи къ щели между дверьми, отдѣляющими теплую комнату отъ холодной, то можно замѣтить, что у пола идетъ токъ воздуха изъ холодной комнаты въ теплую, а вверху—



337.

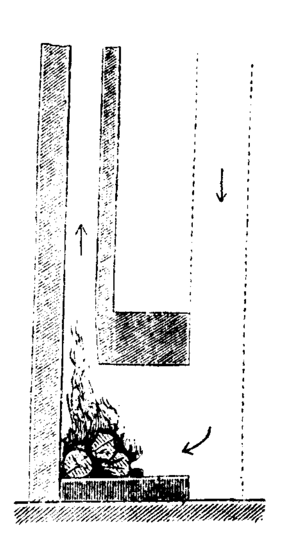


338.

изъ теплой въ холодную; въ промежуткѣ между этими токами найдется такое мѣсто, гдѣ пламя останется почти неподвижнымъ (рис. 338). Надъ каждымъ достаточно нагрѣтымъ предметомъ въ комнатѣ (надъ горящей лампою или свѣчею, нагрѣтымъ утюгомъ или самоваромъ и даже надъ нашимъ тѣломъ) можно обнаружить существованіе тока теплаго воздуха. Если въ натопленной комнатѣ (или банѣ) стать достаточно высоко, то очень замѣтно, что сверху воздухъ теплѣе, чѣмъ внизу; это показалъ бы и подвѣшенный вверху термометръ. — Благодаря отчасти воздушнымъ токамъ, температура въ каждомъ помѣщеніи на одной и той же высотѣ довольно скоро выравнивается (по крайней мѣрѣ приблизительно), не смотря на очень малую теплопроводность воздуха.

Движеніе воздуха, называемое вѣтромъ, происходитъ именно вслѣдствіе неодинаковаго нагрѣванія воздуха въ разныхъ мѣстахъ земной поверхности и тоже ведетъ къ большему или меньшему выравниванію температуры. Въ малыхъ размѣрахъ мы наблюдаемъ происхожденіе вѣтра напр. между двумя неодинаково нагрѣтыми комнатами, какъ указано выше.

456*. Неравномѣрнымъ нагрѣваніемъ воздуха обусловливается и такъ называемая „тяга“ печей (рис. 339). Въ трубѣ, нагрѣваемой топкою, воздухъ становится относительно легче и вытѣсняется чрезъ печное отверстіе вверхъ болѣе тяжелымъ наружнымъ воздухомъ. Отсюда вѣтеръ, наблюдаемый нами у входа въ печное отверстіе. Слѣдовательно основное условіе „тяги“ то, чтобы температура воздуха въ печной трубѣ была выше температуры воздуха внѣ печи. Если этого нѣтъ, то тяга можетъ совсѣмъ отсутствовать и даже сдѣлаться обратною (дымъ выбрасывается изъ печи въ комнату), когда воздухъ въ трубѣ холоднѣе внѣшняго. Въ послѣднемъ случаѣ для возстановленія тяги необходимо согрѣть воздухъ въ печной трубѣ, что достигается сжиганіемъ въ ней соломы, стружекъ и т. п. [1] — Увеличеніе высоты трубы — при прочихъ равныхъ условіяхъ — усиливаетъ „тягу“, потому что тогда увеличивается давленіе, вталкивающее воздухъ въ печное отверстіе. Въ самомъ дѣлѣ положимъ для примѣра, что столбъ горячаго воздуха въ трубѣ вѣситъ 4 ф., а точно такихъ же размѣровъ столбъ наружнаго вѣситъ 5 фунтовъ: перевѣсъ составляетъ 1 ф. Если бы труба была вдвое выше, то вѣсъ (нагрѣтаго въ той же степени) воздуха былъ бы въ ней 8 ф., а такого же столба наружнаго воздуха 10 ф.: перевѣсъ составилъ бы уже 2 ф., и воздухъ сталъ бы врываться въ печное отверстіе съ бо́льшею быстротою.

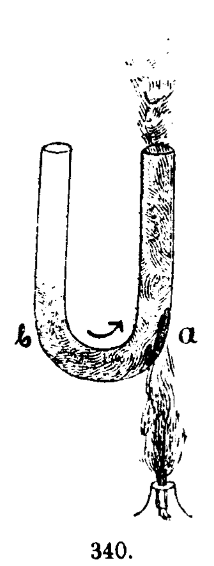


339.

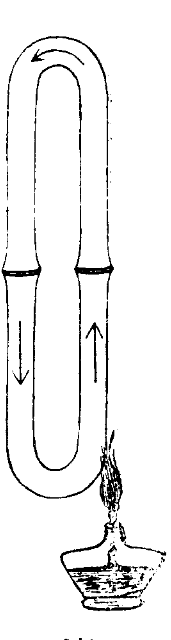
Условія возникновенія тяги (прямой и обратной) хорошо

[1] Какъ извѣстно, иногда (зимою) достаточно бываетъ открыть форточку, чтобы возстановить или усилить „тягу“ въ печи, въ которой плохо разгораются дрова. Давая доступъ въ комнату холодному воздуху, мы именно достигаемъ того, что разность температуръ воздуха въ печной трубѣ и внѣ ея увеличивается.

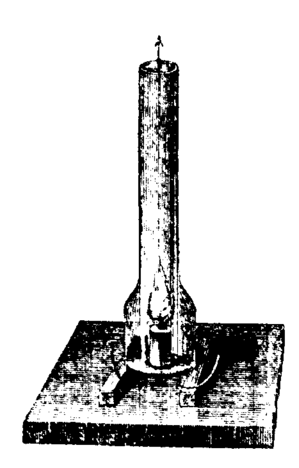
наблюдаются слѣдующимъ образомъ. Въ большую U-образную стеклянную трубку (рис. 340) впускаютъ табачнаго дыма и нагрѣваютъ пламенемъ спиртовой лампы то одну вѣтвь трубки, то другую (въ *a* или въ *b*): дымъ будетъ перебрасываться то въ одну, то въ другую сторону. Если же установить двѣ такихъ трубки одна надъ другою, какъ показываетъ рис. 341, и наполнить нижнюю дымомъ, то при подогрѣваніи сбоку начинается циркуляція дыма.



340.


341.

„Тяга“ совершенно сходная съ печною происходитъ при горѣніи керосиновой лампы, стекло которой играетъ ту же самую роль, какъ печная труба, а сѣтка подъ горѣлкою соотвѣтствуетъ печному отверстію или поддувалу. Если зажженый свѣчной огарокъ накроемъ ламповымъ стекломъ (рис. 342), то горѣніе будетъ продолжаться, пока воздухъ имѣетъ доступъ чрезъ оставленную подъ стекломъ щель (самый токъ воздуха внутри стекла дѣлается замѣтнымъ по колыханію пламени). Но если поставить стекло краями плотно на столъ (для опыта слѣдуетъ брать стекло съ перехватомъ, какъ на рисункѣ, и не слишкомъ широкое), то пламя скоро погаснетъ; приподнявъ стекло тотчасъ же послѣ этого, замѣтимъ, что дымъ погасшей свѣчи быстро поднимается и выбрасывается, какъ изъ печной трубы.


342.

П р о в ѣ т р и в а н і е или в е н т и л я ц і я помѣщеній

посредствомъ топки печей и каминовъ основывается на постепенной замѣнѣ комнатнаго воздуха, выгоняемаго чрезъ печную трубу, наружнымъ, который проникаетъ внутрь чрезъ многочисленныя скважины и щели въ стѣнахъ зданія (въ гораздо бо́льшемъ количествѣ, чѣмъ принято думать, и во всякомъ случаѣ въ бо́льшемъ, чѣмъ чрезъ временно открываемыя форточки) [1].

457. В ъ в о д ѣ разность температуръ вызываетъ подобныя же теченія, какъ въ воздухѣ, и по той же самой причинѣ (одинъ изъ пріемовъ наблюденія ихъ былъ указанъ выше). Въ большихъ размѣрахъ теченія происходятъ въ океанахъ (впрочемъ образованію ихъ содѣйствуютъ и господствующіе вѣтра̀); подобно воздушнымъ теченіямъ, они способствуютъ выравниванію рѣзкихъ температурныхъ различій въ разныхъ мѣстахъ земной поверхности.

Но водяныя теченія, зависящія отъ разности температуръ, представляютъ одну особенность, связанную съ тѣмъ, что в о д а п р и 4° Ц. и м ѣ е т ъ н а и б о л ь ш у ю п л о т н о с т ь. Когда осенью вода (положимъ, въ прѣсноводномъ бассейнѣ) охлаждается съ поверхности отъ соприкосновенія съ холоднымъ воздухомъ, она сперва становится плотнѣе и опускается. Это будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока вода не охладится до 4° Ц. При дальнѣйшемъ охлажденіи, поверхностный слой воды дѣлается менѣе плотнымъ и остается наверху, гдѣ при наступленіи зимнихъ холодовъ начинаетъ замерзать. Но ледъ легче воды и остается съ поверхности. Дальнѣйшее охлажденіе нижнихъ слоевъ воды можетъ происходить только вслѣдствіе теплопроводности воды и льда, которая весьма мала. Такимъ образомъ вода на глубинахъ никогда не охлаждается ниже 4° Ц., и это дѣлаетъ возможнымъ перезимовку въ ней водныхъ животныхъ. Мы видимъ, что нѣкоторыя особенности воды, кажущіяся маловажными (ничтожное расширеніе отъ 4° до 0° и новое расширеніе при замерзаніи) устраняютъ возможность промерзанія водъ на большія глубины и слѣдовательно имѣютъ огромное значеніе въ природѣ.

458. Разсмотрѣнныя выше теченія въ водѣ и воздухѣ

---

[1] О проницаемости матерьяла кирпичныхъ стѣнъ для воздуха см. выше § 71.

(вообще въ жидкостяхъ и газахъ), являются вторымъ способомъ распространенія (передачи) теплоты. Отъ распространенія путемъ теплопроводности онъ отличается тѣмъ, что теплота здѣсь распространяется вмѣстѣ съ перемѣщеніемъ нѣкотораго количества вещества (жидкости или газа),—какъ бы „переносится“ вмѣстѣ съ веществомъ. Но теплота можетъ передаваться отъ тѣла къ тѣлу еще и третьимъ способомъ, совершенно отличнымъ отъ двухъ предыдущихъ, именно лучами.

Тепловое лучеиспусканіе (излученіе).

459. Выше, въ гл. XXI, было уже указано на нѣкоторыя особенности распространенія теплоты вмѣстѣ со свѣтомъ. Теплота раскаленнаго предмета можетъ ощущаться нами безъ того, чтобы между этимъ предметомъ и нами находились какія-либо газообразныя, жидкія или твердыя тѣла, способныя передавать теплоту. Разительнѣйшій примѣръ мы имѣемъ въ нагрѣваніи земли солнцемъ. Пространство въ 140 милліоновъ верстъ, отдѣляющее землю отъ солнца, не заполнено ни воздухомъ, ни другимъ газомъ, ни вообще какими либо „тѣлами“ въ обычномъ смыслѣ этого слова. Между тѣмъ солнце непрерывно доставляетъ землѣ огромное количество теплоты, которымъ поддерживаются движеніе и жизнь на земной поверхности. Земная атмосфера, если считать высоту ее надъ землею въ нѣсколько сотъ верстъ, конечно составляетъ совершенно ничтожную долю названнаго огромнаго промежутка и не только не способствуетъ передачѣ теплового дѣйствія солнца, но, наоборотъ, ослабляетъ его поглощеніемъ лучей. Самый воздухъ нагрѣвается главнымъ образомъ вслѣдствіе соприкосновенія съ нагрѣтою землею; въ верхнихъ же слояхъ атмосферы господствуетъ очень сильный холодъ.

Припомнимъ еще слѣдующее всѣмъ извѣстное явленіе. Къ концу зимы, поднимаясь все выше и выше, солнце начинаетъ замѣтно „припекать“, хотя воздухъ еще остается морознымъ. Если солнечные лучи падаютъ тогда перпендикулярно на наружный желѣзный (черный) подоконникъ, то онъ сильно нагрѣвается. Въ это время термометръ, выставленный на яркое солнце, можетъ показать довольно высокую температуру, которая очевидно не есть температура окружающаго воздуха [1]. Ясно, что нагрѣваніе тѣлъ солнцемъ происходитъ въ этихъ случаяхъ не чрезъ посредство промежуточнаго тѣла (воздуха), а иначе—помимо него.

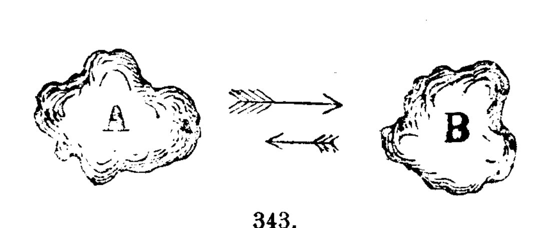
Въ дѣйствительности эфирныя волны, достигающія до насъ отъ солнца, сами по себѣ—не свѣтъ и не теплота, а являются свѣтомъ, когда раздражаютъ органъ зрѣнія, и теплотою, когда поглощаются тѣлами или возбуждаютъ кожные нервы живого организма.

460*. Не только отъ раскаленнаго, свѣтящаго тѣла, но отъ всякаго горячаго предмета исходитъ подобное тепловое дѣйствіе—исходятъ невидимые тепловые „лучи“. Въ этомъ мы удостовѣряемся, держа лицо или руку противъ горячаго утюга, противъ стѣнки натопленной печи или даже противъ чайника съ кипяткомъ. Но припомнимъ, какъ относительны выраженія горячій, теплый, холодный. Кипятокъ „горячъ“—это значитъ, что его температура гораздо выше температуры нашего тѣла. Ледъ „холоденъ“, потому что его температура значительно ниже нашей собственной. Но если оставить на время наши ощущенія въ сторонѣ, то можно сказать, что тающій ледъ тепелъ или даже горячъ по отношенію къ другому тѣлу, котораго темпер. ниже 0°. Съ помощью твердой углекислоты легко достигается напр. температура въ—100° Ц. Относительно тѣла, имѣющаго эту температуру, ледъ при 0° столь же „горячъ“, какъ кипятокъ относительно льда. Весьма естественно ожидать, что тепловое дѣйствіе, называемое тепловымъ излученіемъ, присуще не только тѣламъ болѣе теплымъ, нежели нашъ организмъ, но исходитъ отъ всякаго предмета.

Дѣйствительно, всякое тѣло, какъ бы низка ни была его температура, испускаетъ во всѣ стороны неуловимыя для глаза эфирныя колебанія, невидимые лучи; но „напряженность“ лучеиспусканія тѣмъ больше, чѣмъ болѣе тѣло нагрѣто. Иначе говоря, чѣмъ выше температура тѣла, тѣмъ больше тепловыхъ единицъ оно отдаетъ въ теченіе даннаго времени (напр. одной минуты)

[1] И вообще необходимо всегда имѣть въ виду, что выставленный на солнце термометръ показываетъ лишь температуру, до которой дѣйствіемъ лучей нагрѣлся онъ самъ и которая можетъ сильно отличаться отъ температуры окружающаго воздуха.

въ окружающее пространство. Между всякими двумя тѣлами *A* и *B* (рис. 343) происходитъ нѣкоторое тепловое взаимодѣйствіе: то тѣло, котораго температура выше (положимъ *A*), отдаетъ другому (*B*), котораго температура ниже, больше теплоты, чѣмъ само отъ него получаетъ, и потому *A* охлаждается; напротивъ *B*, получая отъ *A* больше теплоты, нежели само отдаетъ ему, нагрѣвается. Такимъ образомъ температура тѣлъ стремится къ выравниванію. Тѣла могутъ при этомъ находиться на любомъ разстояніи, и указанный обмѣнъ происходитъ безъ того, чтобы между ними находилось какое нибудь т р е т ь е т ѣ л о, способное передавать теплоту. Вотъ нѣсколько явленій, поясняющихъ сказанное.



343.

461*. Наша собственная температура вообще выше температуры тѣлъ, находящихся въ жилой комнатѣ; поэтому нашъ организмъ непрерывно теряетъ чрезъ лучеиспусканіе (и другими путями) больше теплоты, нежели получаетъ отъ окружающихъ предметовъ (постоянное же развитіе теплоты въ организмѣ поддерживается чрезвычайно сложными внутренними явленіями). Въ этомъ обмѣнѣ должно существовать нѣкоторое привычное равновѣсіе. Когда оно нарушено, намъ становится или жарко, или холодно. Такъ мы зябнемъ, когда воздухъ въ комнатѣ становится холоднѣе привычнаго. Но то же ощущеніе можетъ получиться и при воздухѣ достаточно тепломъ. Когда зимой мы входимъ въ только что натопленное помѣщеніе, которое долго не отапливалось, намъ зябнется, хотя термометръ (помѣщенный гдѣ-либо внутри комнаты) можетъ показывать обыкновенную комнатную температуру. Отчего это? Отъ того, что н е п р о г р ѣ л и с ь е щ е с т ѣ н ы комнаты, и наше тѣло теряетъ ч р е з ъ л у ч е и с п у с к а н і е, путемъ теплового обмѣна съ ними, непривычное количество теплоты. Напротивъ, подъ раскаленной солнечными лучами желѣзной крышей намъ можетъ быть невыносимо жарко, хотя бы помѣщеніе провѣтривалось сравнительно свѣжимъ воздухомъ. Точно такъ же

насъ охватываетъ ощущеніе тепла, когда мы проходимъ около каменной стѣны, которая была сильно нагрѣта солнцемъ.

Возьмемъ кусокъ льду и будемъ держать противъ него на небольшомъ разстояніи термометръ. Ртуть въ немъ начнетъ опускаться, но не потому, чтобы теплота его передавалась льду чрезъ посредство воздуха, ибо воздухъ очень дурной проводникъ теплоты; кромѣ того, охлажденный льдомъ воздухъ направляется внизъ, какъ болѣе тяжелый. Между термометромъ и льдомъ происходитъ тепловой обмѣнъ чрезъ л у ч е и с п у с к а н і е, и термометръ охлаждается, такъ какъ отдаетъ льду больше теплоты, чѣмъ получаетъ отъ него въ то же самое время.

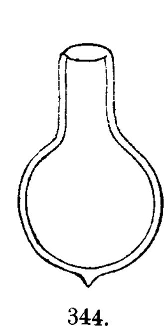
Невидимые лучи, при посредствѣ которыхъ происходитъ этотъ тепловой обмѣнъ, о т р а ж а ю т с я напр. отъ полированной металлической поверхности, подобно тому, какъ отражаются солнечные лучи. Можно замедлить охлажденіе тѣла, сдѣлавъ такъ, чтобы испускаемые имъ лучи отчасти снова возвращались къ нему чрезъ отраженіе. Опустимъ руку въ цилиндрическую жестянку съ блестящими внутри стѣнками: мы тотчасъ почувствуемъ тепло (какъ бы при погруженіи руки въ тепловатую воду); это происходитъ отъ того, что испускаемые рукою лучи, частью отразившись отъ стѣнокъ сосуда, возвращаются рукѣ, и потеря ею теплоты чрезъ лучеиспусканіе замедляется.

Мы уже знаемъ, какимъ образомъ р а з л о ж е н і е л у ч е й трехгранной призмой способствуетъ ихъ изученію (гл. XIX и §§ 386—388). Напомнимъ здѣсь, что темные лучи, испускаемые тѣлами при сравнительно низкихъ температурахъ (когда тѣла еще не начали свѣтиться вслѣдствіе накаливанія), состоятъ главнымъ образомъ изъ тѣхъ, которые преломляются въ стеклѣ менѣе красныхъ,—изъ т. наз. з а - к р а с н ы х ъ или и н ф р а к р а с н ы х ъ л у ч е й.

462*. Лучеиспусканіе при всякихъ температурахъ—причина того теплового обмѣна, который в с е г д а и в с ю д у происходитъ между тѣлами (даже на громадныхъ небесныхъ разстояніяхъ) и вслѣдствіе котораго температура тѣлъ стремится къ выравниванію. Въ окружающей насъ земной обстановкѣ тепловой обмѣнъ усложняется еще другими явленіями: въ немъ большею частью одновременно участвуютъ

и лучеиспусканіе, и переносъ теплоты теченіями, и теплопроводность. Въ разныхъ случаяхъ можетъ преобладать то одно, то другое. Съ измѣняющимися обстоятельствами, между прочимъ, очень измѣняются и условія охлажденія нашего тѣла, которыя сильно отзываются какъ на нашихъ ощущеніяхъ, такъ и на нашемъ здоровьи.

По указаннымъ причинамъ нагрѣтое или охлажденное (сравнительно съ окружающими) тѣло нельзя вполнѣ защитить отъ потери теплоты наружу или притока ея извнѣ. Но слѣдующимъ способомъ удается въ чрезвычайной степени замедлить тепловой обмѣнъ. Берутъ стеклянный сосудъ (колбу и т. п.) съ двойными стѣнками, изнутри высеребренными; въ пространствѣ между стѣнками производятъ по возможности совершенную пустоту (рис. 344). Почти полное отсутствіе чего либо вещественнаго между стѣнками сводитъ почти къ нулю теплопроводность и тепловыя теченія, а хорошо отражающая лучи серебряная поверхность сильно замедляетъ тепловой обмѣнъ, зависящій отъ лучеиспусканія. Такіе сосуды назначаются главнымъ образомъ для сохраненія жидкаго воздуха, который испаряется въ нихъ настолько медленно, что сберегается съ очень малой потерей въ теченіе нѣсколькихъ дней, — хотя отверстіе при этомъ затыкаютъ лишь пробкою изъ ваты. Не смотря на то, что температура жидкости около—190° Ц., сосудъ (хорошо сдѣланный) даже не покрываются снаружи отпотью [1].



344.

463. Сдѣлаемъ теперь заключительный обзоръ основныхъ тепловыхъ явленій.

1) Съ перемѣнами температуры въ тѣлахъ совершаются раз-

[1] Дѣйствіе указанной защиты очень наглядно обнаруживается и въ
томъ, какъ медленно остываетъ въ такомъ сосудѣ (Дьюара) горячая
вода. Для примѣра приводимъ слѣдующее наблюденіе. Въ колбу полу-
литровой вмѣстимости была налита горячая вода и вставленъ тер-
мометръ, который (когда температура установилась) показывалъ 60°
слишкомъ (Ц). Чрезъ 2 часа температура понизилась всего на $1^1/_2$°, а
чрезъ двое сутокъ слишкомъ (52 часа)—на 30°, тогда какъ въ
обыкновенной колбѣ вода при тѣхъ же условіяхъ охладилась на 30°
въ 2 часа.

личнѣйшія измѣненія—какъ физическія (измѣненіе плотности, крѣпости, переходъ изъ твердаго состоянія въ жидкое и газообразное или обратно), такъ и химическія (химическое разложеніе или соединеніе).

2) На повышеніе температуры тѣла, на превращеніе твердаго тѣла въ жидкое и газообразное—расходуется то или другое количество теплоты, которое отдается или выдѣляется обратно, когда тѣло принимаетъ свое первоначальное состояніе.

3) Количество теплоты и температура—понятія настолько же различныя, какъ напр. количество жидкости и высота ея уровня. Разностью уровней, а не количествомъ жидкости, опредѣляется направленіе, въ которомъ перемѣщается жидкость. Разностью температуръ, а не количествомъ или запасомъ теплоты, обусловливается то, въ какомъ направленіи будетъ переходить теплота.

4) Температура опредѣляется числомъ градусовъ по термометру. Градусъ термометрической шкалы есть опредѣленная (по Ц. — сотая) часть промежутка между точками таянія и кипѣнія.

5) За единицу теплоты принимаютъ то ея количество,
которое нужно для нагрѣванія опредѣленной массы воды на 1° Ц.
(вводя при болѣе точномъ опредѣленіи нѣкоторыя добавочныя
условія), именно 1 килограмма („большая калорія“) или 1 грамма
(„малая калорія“). Количество теплоты—въ приходѣ или расходѣ—
опредѣляется по числу килограммовъ или граммовъ воды, которое
можетъ быть этой теплотою нагрѣто на 1° Ц. или, болѣе общимъ
образомъ, произведеніемъ числа килограммовъ или граммовъ воды
на повышеніе ея температуры въ градусахъ Ц.

6) Разныя вещества очень различаются своею теплоем-
костью, т. е. для измѣненія температуры одного и того же вѣс.
количества разныхъ матерьяловъ на одинаковое число градусовъ,
напр. на 1° Ц., требуется сообщеніе или отнятіе весьма различ-
ныхъ количествъ теплоты. Изъ всѣхъ твердыхъ и жидкихъ ве-
ществъ вода въ жидкомъ состояніи требуетъ наибольшаго коли-
чества теплоты для нагрѣванія ея на данное число градусовъ;
при теплоемкости воды = 1, теплоемкость всѣхъ другихъ жид-
кихъ и твердыхъ тѣлъ выражается числами меньше единицы
(правильными дробями).

7) Затрата работы обыкновенно сопровождается возникнове-
ніемъ теплоты; въ свою очередь, теплота можетъ производить
работу. Каждые 428 кг.-м. работы, затраченной на производство
теплоты, даютъ 1 б. калорію и обратно, каждая б. калорія, израс-
ходованная на производство работы, доставляетъ 428 кг.-м. ра-
боты. Теплота и работоспособность (энергія) въ этомъ смыслѣ
равнозначны или „эквивалентны“, и всякое количество теплоты
можно выражать какъ въ тепловыхъ единицахъ, такъ и въ ме-
ханическихъ (въ единицахъ работы).

8) Теплота, сообщаемая тѣлу, вообще говоря, расходуется
1) на внутреннюю работу, т. е. на преодолѣніе междучастич-

ныхъ связей, 2) на внѣшнюю работу—на преодолѣніе внѣшнихъ противодѣйствій расширенію, обыкновенно—атмосфернаго давленія, 3) на повышеніе температуры тѣла. Постоянство температуры тѣла во время плавленія и кипѣнія—слѣдствіе того, что вся сообщаемая тѣлу теплота тратится тогда на внутреннюю (и внѣшнюю) работу.

9) Слѣдуетъ обратить особенное вниманіе на то, что для перехода тѣла изъ твердаго состоянія въ жидкое и изъ жидкаго въ газообразное существеннымъ условіемъ является сообщеніе тѣлу нѣкотораго количества теплоты, которое расходуется тогда не на повышеніе температуры тѣла, а на другое дѣйствіе—ослабленіе связи его частицъ, и которое увеличиваетъ запасъ энергіи въ тѣлѣ. При обратномъ переходѣ, эта запасенная тѣломъ энергія снова преобразовывается въ теплоту. Наибольшій расходъ или приходъ теплоты соотвѣтствуетъ превращенію воды изъ одного состоянія въ другое.

10) Газъ можно разсматривать какъ ненасыщенный паръ жидкости, въ которую онъ и превращается при достаточномъ охлажденіи. Сдавливаніе газа вообще содѣйствуетъ этому переходу; но необходимымъ условіемъ перехода въ жидкость является охлажденіе ниже опредѣленной для каждаго газа температуры, называемой критическою (она же температура „абсолютнаго кипѣнія" жидкости). Критическая температура нѣкоторыхъ газовъ гораздо ниже нашихъ обычныхъ температуръ (для водорода, азота и напр. кислорода она значительно ниже—100° Ц.), а потому ихъ нельзя сгустить въ жидкость сдавливаніемъ, не прибѣгая къ сильному искусственному охлажденію. Вообще выше нѣкоторой опредѣленной для даннаго вещества критической температуры вещество можетъ существовать только въ состояніи газа; это вѣроятно относится и къ тѣмъ многимъ тѣламъ (какъ напр. большинство металловъ), критическая температура которыхъ очень высока, такъ что ее еще не удалось опредѣлить.

11) При разложеніи химическаго соединенія на его составныя части расходуется большее или меньшее количество теплоты, которое идетъ на производство внутренней работы — работы разъединенія междуатомныхъ связей. При обратномъ соединеніи тѣлъ въ одно цѣлое снова возникаетъ то же количество теплоты, какое было израсходовано на разложеніе. Всего больше теплоты развивается при химическомъ соединеніи водорода съ кислородомъ (при сгораніи водорода).

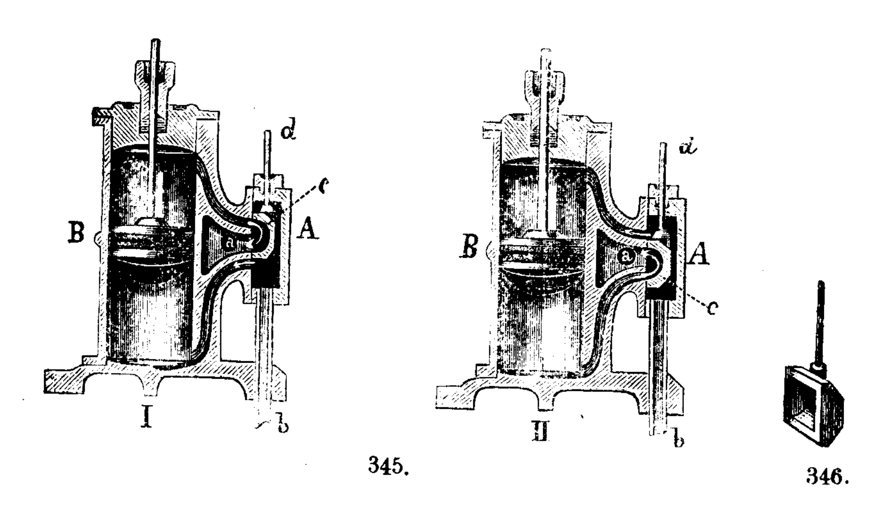
12) Главнымъ источникомъ теплоты, послѣ солнца, для насъ является горѣніе. Разные горючіе матерьялы очень отличаются своею тепловою производительностью, т. е. числомъ тепловыхъ единицъ, доставляемыхъ каждою вѣс. единицею сгорѣвшаго тѣла. Хотя сравнительно лишь малая доля всей этой теплоты можетъ быть преобразована въ работу, тѣмъ не менѣе сжиганіе топлива является (въ настоящее время) главнымъ источникомъ энергіи, приводящей въ движеніе наши паровыя машины.

Прибавленіе: о паровыхъ двигателяхъ (паровыхъ машинахъ).

464. Выше (§§ 415, 426) было уже указано на то, что расширяющійся при нагрѣваніи газъ (воздухъ) совершаетъ работу, расходуя соотвѣтственное количество теплоты. Въ цилиндрѣ паровой машины работа перемѣщенія поршня производится расширяющимся водянымъ паромъ болѣе или менѣе высокой температуры: давленіе насыщеннаго водяного пара, какъ мы видѣли (§ 445), легко доводится до весьма значительной величины. Сжигая въ топкѣ дрова, каменный уголь или нефть, нагрѣваютъ воду въ прочномъ котлѣ, откуда паръ проводится въ паровой цилиндръ. Здѣсь давленіемъ пара перемѣщается впередъ и обратно поршень, движеніе котораго передается главному колесу машины—подобно тому, какъ въ токарномъ станкѣ или швейной машинѣ качанія педали преобразовываются во вращательное движеніе колеса. Расширяющійся подъ поршнемъ паръ расходуетъ часть своего теплового запаса—охлаждается: эта исчезнувшая теплота именно и преобразовывается въ работу.

Чтобы поршень могъ непрерывно двигаться впередъ и обратно, нужно производить на него давленіе попеременно то съ одной, то съ другой стороны, т. е. направлять паръ то въ одну, то въ другую часть цилиндра. Распредѣленіе пара производится самою же машиною—чаще всего съ помощью слѣдующаго остроумнаго механизма (см. рис. 345). Паръ изъ парового котла поступаетъ по трубкѣ *b* въ „паровую коробку" *A*, которая сообщается 1) двумя каналами съ паровымъ цилиндромъ *B*, 2) съ выемкой въ стѣнкѣ цилиндра, имѣющей выходъ наружу (на рисункѣ буквою *a* обозначено отверстіе выводной трубки). Чтобы впускать паръ попеременно въ обѣ части цилиндра, служитъ т. наз. золотникъ (*c*), имѣющій видъ крышки или коробочки безъ дна и представленный отдѣльно на рис. 346; перемѣщаемый впередъ и обратно стержнемъ *d*, золотникъ открываетъ пару входъ то въ одинъ изъ каналовъ, то въ другой. Рис. 345 I представляетъ расположеніе частей въ то

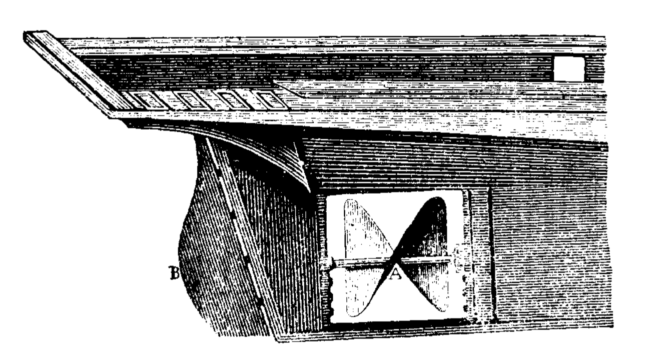
время, когда паръ входитъ въ нижнюю часть цилиндра и слѣдов. поршень движется вверхъ (по направленію стрѣлки); въ это время „отработавшій“ и охладившійся паръ изъ верхней части цилиндра идетъ по верхнему каналу подъ золотникъ и оттуда чрезъ выходъ *a* выбрасывается наружу



345. 346.

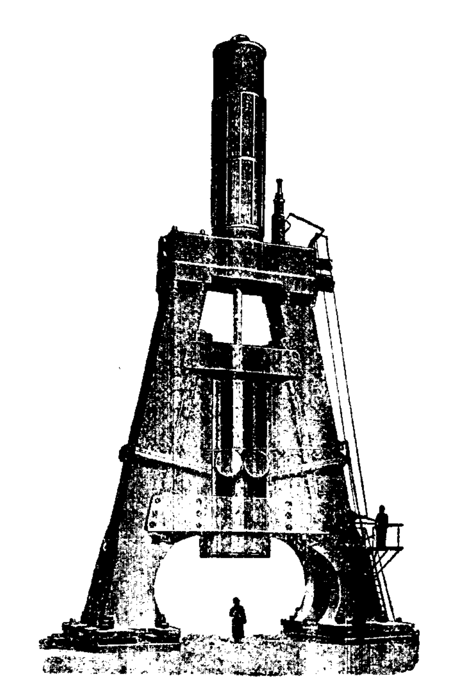
(ходъ работающаго и отработавшаго пара также представленъ стрѣлками). Въ положеніи II мы встрѣчаемъ золотникъ перемѣстившимся: теперь паръ входитъ въ верхнюю часть цилиндра—поршень движется внизъ—а отработавшій паръ изъ нижней части выталкивается подъ золотникъ и чрезъ выходъ *a*—наружу. Перемѣщеніе золотника впередъ и обратно производится самою же машиною.

465. Не останавливаясь болѣе ни на какихъ частностяхъ, укажемъ лишь на главные виды, въ которыхъ является паровая машина, смотря по ея назначенію. Въ заводской паровой машинѣ работа поршня передается системою стержней болѣе или менѣе массивному колесу, маховику, а отъ него — обыкновенно помощью передаточныхъ ремней и колесъ—механизмамъ, назначеніе которыхъ преобразовывать работу въ ту или иную полезную форму. Въ паровозѣ (локомотивѣ) работа поршня передается т. наз. ведущимъ колесамъ, стоящимъ на рельсахъ, вслѣдствіе чего работа главнымъ образомъ расходуется на передвиженіе самой машины и вагоновъ по рельсамъ. Въ виду назначенія паровоза, его части дѣлаются вообще меньшихъ размѣровъ и легче, чѣмъ у заводскихъ машинъ, а надлежащее производство работы достигается бо́льшимъ давленіемъ пара (до 12 атмосферъ, а въ исключительныхъ



347.

случаяхъ и больше). Въ пароходѣ роль ведущихъ колесъ играютъ или колеса съ лопатками по окружности (какъ бы веслами), или пароходный винтъ (*A* рис. 347), помѣщающійся подъ кормою (около руля *B*). Винтовая поверхность послѣдняго (обыкновенно изъ нѣсколькихъ лопастей) производитъ то, что онъ, вращаясь, какъ бы ввинчивается въ воду, толкая впередъ самое судно. (См. также § 116 и рис. 105).



348.

Примѣненіе пара въ качествѣ двигателя далеко не ограничивается поименованными выше машинами. Рис. 348 изображаетъ огромный паровой молотъ, находящійся на одномъ изъ сѣверо-американскихъ желѣзныхъ заводовъ. Припод-

нимаемая паромъ и падающая масса собственно молота вѣситъ 125 тоннъ (ок. 7500 пуд.) [1].

466* Работа, производимая паромъ при каждомъ перемѣщеніи поршня вдоль цилиндра, какъ всякая иная, можетъ быть выражена въ пудофутахъ или килограмметрахъ, если намъ извѣстно давленіе пара на поршень— въ пудахъ или килограммахъ — и проходимый поршнемъ путь — въ футахъ или метрахъ; надо именно давленіе (его среднюю величину) умножить на длину пути. На практикѣ эта работа измѣряется особыми приборами („индикаторами").

Паровой двигатель, смотря по размѣрамъ и устройству, можетъ доставлять намъ въ одно и то же время работу очень различной величины. Огромныя машины современныхъ океанскихъ пароходовъ производятъ ежечасно столько килограмметровъ работы, сколько обыкновенный паровозъ не произведетъ и въ теченіе сутокъ, а небольшая паровая машина, вращающая въ мастерской нѣсколько токарныхъ станковъ, — даже непрерывно работая цѣлый годъ. Поэтому, чтобы судить о той или иной примѣнимости двигателя, необходимо знать, сколько работы онъ можетъ доставить въ какое нибудь опредѣленное время. Смотря по числу килограмметровъ работы, производимой двигателемъ въ единицу времени, именно въ секунду, говорятъ, что онъ имѣетъ ту или иную рабочую „мощность". При этомъ въ машинной техникѣ нынѣ принимаютъ за единицу мощность двигателя, производящаго въ секунду почти ровно 100 кг.-м. работы (точнѣе 102 кг.-м.),—такъ называемый киловаттъ. Какъ показываетъ самое названіе, киловаттъ есть тысяча ваттовъ, причемъ ваттъ (или, по другому выговору, уаттъ) обозначаетъ мощность, при которой въ секунду доставляется 1/10 (точнѣе 0,102) кг.-м. работы. При оцѣнкѣ мощности паровыхъ машинъ употребляется еще другая единица, основанная на сравненіи мощности машинъ и рабочей лошади. Именно мощность двигателя, производящаго въ секунду

[1] Описанная выше паровая машина съ цилиндромъ и поршнемъ нынѣ все болѣе и болѣе вытѣсняется на практикѣ турбинною паровою машиной: въ ней струя горячаго пара прямо вращаетъ колесо съ многочисленными лопатками, или же вращеніе производится какъ упомянуто въ гл. VII, § 116.

Очень распространенные нынѣ небольшіе бензинные двигатели (бензинные моторы) дѣйствуютъ вспышками или взрывами смѣси бензинныхъ паровъ съ воздухомъ: энергіею этихъ взрывовъ приводится въ движеніе поршень въ цилиндрѣ.

75 кг.-м. (почти точно 15 пудофутовъ) работы, называется лошадиной силою или лучше паровой лошадью. Итакъ, круглымъ счетомъ, 1 киловаттъ=1⅓ паров. лошади (=20 пудофут. въ секунду).

Чтобы освоиться съ этой новою единицею, возьмемъ два примѣра.

Пусть грузъ въ 1 тонну (1000 кг.) былъ поднятъ машиною на 45 метровъ въ теченіе полуминуты. Вся затраченная на поднятіе работа въ 45000 кг.-м. была доставлена двигателемъ въ 30 секундъ; это отвѣчаетъ 1500 кг.-м. въ секунду, т. е. мощности около $\frac{1500}{100} = 15$ киловаттовъ, или $\frac{1500}{75} = 20$ паровыхъ лошадей.

Положимъ еще, что водопадъ низвергаетъ по 450 куб. м. воды въ минуту съ высоты 10 м. (около 5 саж.). Какова рабочая мощность водопада? Отв. 450 куб. м. воды вѣсятъ 450 тоннъ, т. е. 450000 кг. Работа въ минуту=450000×10=4500000 кг.-метрамъ, а въ секунду 75000 кг.-м. Слѣдов. мощность водопада приблиз.=750 киловаттамъ=1000 паров. лошадямъ.

Въ киловаттахъ или паровыхъ лошадяхъ можетъ быть такимъ образомъ выражена мощность не только парового, но и всякаго иного двигателя, напр. рабочаго животнаго, падающей воды, вѣтра и т. п. [1].

467*. Мы уже знаемъ, что каждая израсходованная на производство работы единица теплоты (б. калорія) доставляетъ 428 кг.-м. работы. Такъ какъ можно опредѣлить, сколько килограммовъ топлива потребляетъ машина напр. ежечасно и, кромѣ того, сколько тепловыхъ единицъ доставляется сжиганіемъ каждаго килограмма топлива, то, казалось бы, отсюда простымъ вычисленіемъ можетъ быть найдена и рабочая мощность машины. Дѣло однако сильно усложняется тѣмъ, что въ дѣйствительности далеко не вся теплота, доставляемая горючимъ матерьяломъ, расходуется на работу. Значительная часть теплоты передается отъ топки окружающимъ менѣе нагрѣтымъ тѣламъ и теряется непроизводительно. Самая

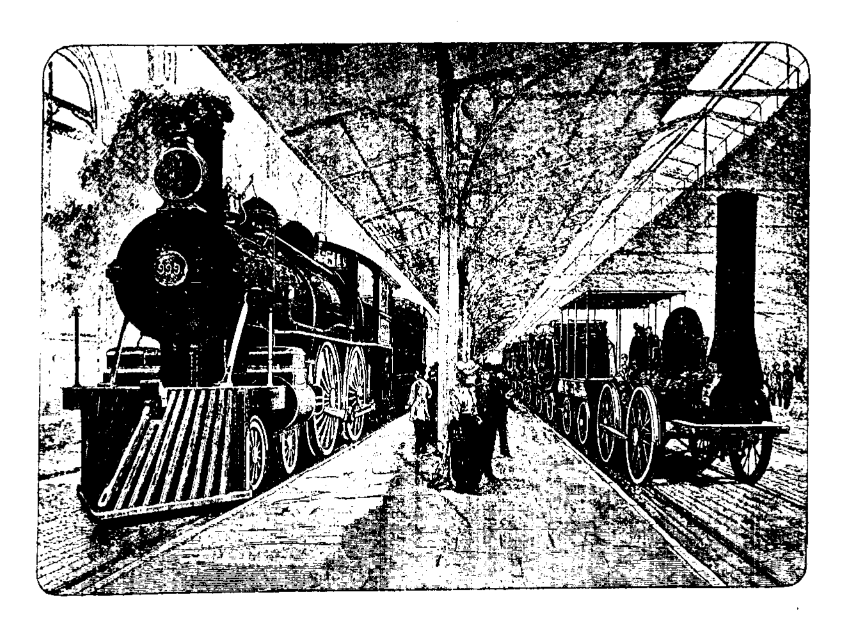
[1] Выраженіе „лошадиная сила" — одно изъ тѣхъ, которыя очень часто приводятъ къ недоразумѣніямъ. Въ дѣйствительности оно вовсе не обозначаетъ „силы", потому что подъ таковою надо понимать тягу или давленіе; оно не обозначаетъ и „работы" самой по себѣ, потому что напр. сказать „75 кг.-м. работы", безъ указанія времени, въ теченіе котораго работа была произведена, значитъ ничего не сказать о мощности двигателя (эта работа можетъ быть произведена въ секунду, въ часъ или даже въ годъ). „Лошадиная сила" или паровая лошадь есть мѣра быстроты производства работы. Поскольку мы отличаемъ выраженіе „метръ" (единица протяженія) отъ „метра въ секунду" (единица скорости), постольку „килограмметръ" (работа) отличается отъ „килограмметра въ секунду" (быстрота работы, рабочая мощность). — Надо еще замѣтить, что мощность въ паровую лошадь значительно превышаетъ мощность средней рабочей лошади.

возможность преобразованія теплоты въ работу предполагаетъ переходъ теплоты отъ болѣе нагрѣтаго тѣла къ менѣе нагрѣтому. Представимъ себѣ всѣ тѣла нагрѣтыми до сколь угодно высокой, но одинаковой температуры: теплота не будетъ переходить отъ одного къ другому, и никакихъ тепловыхъ дѣйствій мы не получимъ—не получимъ и работы. Если же температура тѣлъ различна, то тотчасъ начинается переходъ теплоты отъ болѣе нагрѣтыхъ тѣлъ къ менѣе нагрѣтымъ (пока температуры не станутъ одинаковыми); при этомъ только и происходятъ т. наз. тепловыя измѣненія или „тепловыя явленія": нагрѣваніе однихъ тѣлъ и охлажденіе другихъ, что можетъ сопровождаться измѣненіемъ ихъ объема, переходомъ изъ одного состоянія въ другое и пр., а также преобразованіемъ части теплоты въ видимую работу (припомнимъ хотя бы работу расширенія нагрѣваемаго воздуха, § 415).

Въ обыкновенной паровой машинѣ мы именно встрѣчаемся съ этими условіями. Тѣломъ болѣе высокой температуры является очагъ, болѣе низкой — окружающій воздухъ. Теплота переходитъ отъ перваго ко второму, и на своемъ пути, именно при расширеніи пара въ паровомъ цилиндрѣ, частью исчезаетъ, преобразовываясь въ соотвѣтственное количество работы. Бо̀льшая же часть теплоты, та именно, которая передается воздуху, оказывается для цѣлей работы потерянною. Научными изслѣдованіями дознано, что въ работу можетъ превращаться тѣмъ бо̀льшая доля теплоты, чѣмъ выше первоначальная температура работающаго тѣла (водяного пара, воздуха и т. п.) и чѣмъ ниже его окончательная температура. Какъ повышеніе первой, такъ и пониженіе второй конечно имѣютъ свои практическія границы, а потому и „полезное дѣйствіе" машины, преобразовывающей теплоту въ работу, ограничено нѣкоторымъ предѣломъ. Современныя паровыя машины, при всемъ ихъ замѣчательномъ совершенствѣ въ частностяхъ, далеко не достигаютъ и этого предѣла. Можно считать, что наиболѣе экономно работающія большія паровыя машины преобразовываютъ въ работу не болѣе 15% всей теплоты, развиваемой въ очагѣ топливомъ. Причина этого заключается въ неизбѣжныхъ огромныхъ потеряхъ теплоты всѣми нагрѣтыми (выше окружающей температуры) частями машины чрезъ непосредственную передачу окружающимъ тѣламъ и путемъ лучеиспусканія. Невыносимая жара въ помѣщеніяхъ для машинныхъ котловъ наглядно свидѣтельствуетъ объ утраченныхъ непроизводительно тепловыхъ запасахъ, — утраченныхъ именно вслѣдствіе неизмѣннаго свойства теплоты переходить отъ тѣлъ болѣе высокой температуры къ тѣламъ съ болѣе низкой температурой. Этотъ переходъ можетъ быть болѣе или менѣе замедленъ, но никакими извѣстными намъ способами не можетъ быть устраненъ вполнѣ [1].

[1] Выше, въ § 417, было упомянуто, что все количество теплоты, развивающейся при сжиганіи 1 кг. угля, равнозначно работѣ около 3400000 кг.-м. = 3400 × 1000 кг.-м., т. е. работѣ поднятія 200 пудовъ на 1 версту. Если принять, что только 15% всей теплоты преобразовывается машиною въ работу, то насчетъ сгоранія 1 кг. угля все же можно было бы поднять 30 пуд. на 1 версту, или 300 пуд. на высоту 50 саженъ.

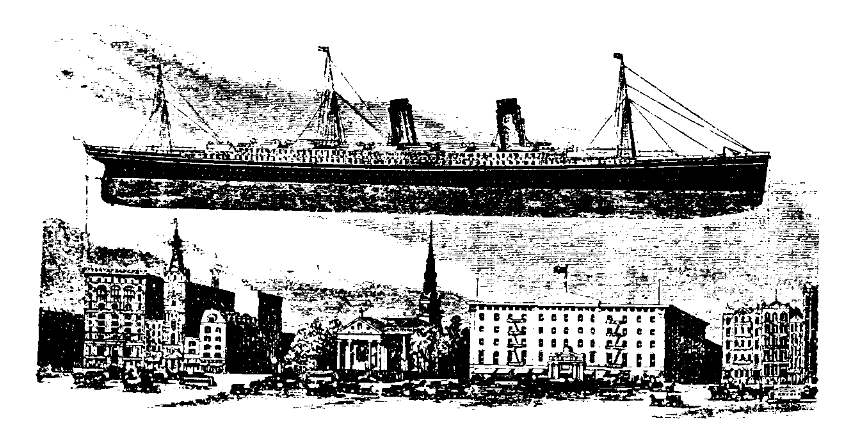
468*. Нѣтъ возможности въ краткихъ словахъ дать понятіе о томъ, какія глубокія измѣненія въ житейскомъ обиходѣ культурныхъ народовъ произведены были паровою машиною. Производительность труда возросла во много разъ, возникли новыя большія отрасли производства, быстрота и удобство передвиженія далеко оставили за собою все то, о чемъ въ прежнія времена можно было мечтать. Для примѣра вотъ нѣсколько сравнительныхъ свѣдѣній о скорости передвиженія въ прежнее время и теперь.



349.

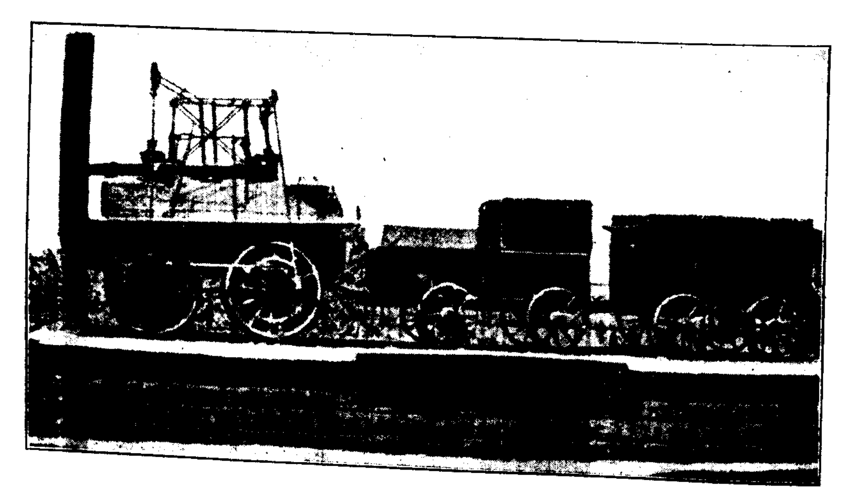
Около половины прошлаго вѣка, до постройки николаевской желѣзной дороги, путешествіе изъ Петербурга въ Москву требовало обыкновенно (при хорошемъ состояніи шоссе) трехъ сутокъ; нынѣ путь проходится въ 14—15 часовъ, а курьерскимъ поѣздомъ—въ 11 час. Но въ Россіи скорость движенія только по николаевской и варшавской желѣзнымъ дорогамъ приближается къ скорости поѣздовъ на главныхъ желѣзнодорожныхъ линіяхъ Зап. Европы. Скорые поѣзда важнѣйшихъ западно-европейскихъ линій дѣлаютъ въ среднемъ, включая остановки, 60—80 верстъ

въ часъ [1]. Скорость поѣздовъ на полномъ ходу доводится на нѣкоторыхъ линіяхъ до 90 и болѣе верстъ въ часъ, а мѣстами



350.

заходитъ и за 100. При пробныхъ поѣздкахъ паровозовъ съ легкими поѣздами на короткихъ разстояніяхъ была достигнута скорость еще гораздо бóльшая [2].

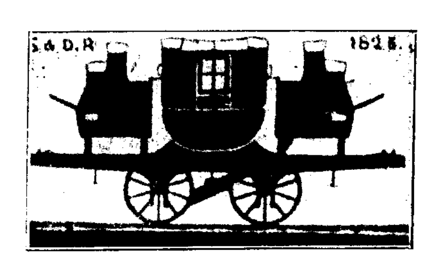


351.

[1] При средней скорости въ 80 вер. въ часъ разстояніе 5713 верстъ отъ Петербурга до Иркутска было бы пройдено въ неполныхъ 3 сутокъ, а весь рельсовый путь по Россіи отъ прусской границы черезъ Москву до Владивостока, около $9^1/_2$ тыс. верстъ ($^1/_4$ длины земной окружности),—въ 5 сутокъ.

[2] Наиболѣе тяжелые товарные паровозы могутъ тянуть поѣздъ вѣсомъ до 800 тоннъ, т. е. круглымъ счетомъ до 50000 пудовъ.

Что касается пароходныхъ сообщеній, то наибольшею скоростью отличаются почтово-пассажирскія быстроходныя суда между Европою и С. Америкой. Такъ путь въ 6700 км. (3600 морскихъ миль или 6280 верстъ) между Гамбургомъ и Нью-Іоркомъ проходится нѣкоторыми изъ нихъ въ $6^1/_2$ сутокъ, что соотвѣтствуетъ средней скорости въ 40 вер. въ часъ (средняя проѣздная скорость пассажирскаго поѣзда николаевской ж. д.).—Эти морскіе гиганты достигаютъ 100 слишкомъ саженъ длины (болѣе $^1/_5$ версты), снабжены паровыми машинами мощностью въ 30—40 тысячъ паровыхъ лошадей и сжигаютъ не менѣе 500 тоннъ (30000 пуд.) каменнаго угля въ сутки.



352.

На рис. 349 изображенъ одинъ изъ современныхъ быстроходныхъ паровозовъ рядомъ съ паровозомъ 1831 года—игрушкою сравнительно съ первымъ, а рис. 350 даетъ нѣкоторое понятіе о размѣрахъ одного изъ самыхъ большихъ океанскихъ пароходовъ по сравненію съ уличными постройками Нью-Іорка [1].

---

452. Положимъ, что въ боковую стѣнку металлическаго ящика вставлены одинаковыхъ размѣровъ палочки изъ стекла, желѣза и мѣди, покрытыя тонкимъ слоемъ воска. Ящикъ наполненъ горячей водою. На которой изъ палочекъ воскъ подтаетъ дальше всего? Въ какомъ порядкѣ въ этомъ отношеніи будутъ слѣдовать палочки?—**454**. 1) Въ стаканъ, въ который вливаютъ кипятокъ, иногда сперва кладутъ серебряную ложечку. Какое значеніе имѣетъ этотъ пріемъ, и при какомъ условіи онъ дѣйствительно можетъ предотвратить растрескиваніе стакана? (Надо имѣть въ виду, что самыми опасными являются первыя части вливаемой жидкости, попадающія на холодное дно стакана).—2) Когда дѣти, играя, укрываютъ куклу одѣяломъ, способствуетъ ли это въ дѣйствительности согрѣванію куклы? При какомъ условіи одѣяло въ самомъ дѣлѣ могло бы, хотя временно, защитить куклу отъ „холода?“ *Отв.* Еслибы она была предварительно нагрѣта выше температуры окружающаго воздуха.—3) Шуба изъ легкаго, пу-

[1] Первая паровая желѣзная дорога была открыта въ 1825 г. между Стоктономъ и Дарлингтономъ въ Англіи. Первый локомотивъ Стифенсона (см. рис. 351) имѣлъ мощность всего въ 15 паровыхъ лошадей и могъ тащить грузъ въ 15 тоннъ (900 пуд.) со скоростью 24 км. въ часъ; самый локомотивъ вѣсилъ $7^1/_2$ тоннъ. На рис. 352 изображена одна изъ пассажирскихъ каретъ этой дороги.

шистаго мѣха „грѣетъ“ лучше, чѣмъ изъ грубаго, плотнаго; почему?—4) Почему воздухъ между двойными рамами полезно высушивать? (См. § 453).—Почему при одной и той же температурѣ намъ больше зябнется въ сыромъ воздухѣ?—5) Зимою подъ толстымъ снѣжнымъ покровомъ почва не промерзаетъ глубоко (условіе сохраненія озимыхъ посѣвовъ). Что можно заключить отсюда о теплопроводности снѣга? Какое значеніе должно имѣть рыхлое сложеніе снѣжнаго покрова?—6) Какое значеніе для органической жизни на землѣ имѣетъ малая теплопроводность воздуха, — если имѣть въ виду чрезвычайно низкую температуру небеснаго пространства? [1]. — 7) Почему гладкіе, полированные предметы (имѣющіе комнатную температуру) кажутся холоднѣе на ощупь, чѣмъ шероховатые изъ того же матерьяла? (Какая поверхность плотнѣе соприкасается съ поверхностью нашей руки?).— 8) Если охватить рукою сплошной металлическій цилиндръ и тонкостѣнную трубку такого же діаметра, то въ первомъ случаѣ получится болѣе продолжительное ощущеніе холода, чѣмъ во второмъ. Почему?—**455**. Если игрушечный воздушный шаръ, уравновѣшенный въ воздухѣ (для чего къ нити привязываютъ подходящаго вѣса кусокъ папки и т. п.), предоставить самому себѣ, то онъ начнетъ перемѣщаться, слѣдуя невидимымъ теченіямъ воздуха въ комнатѣ. Обратить вниманіе на направленія, которыя принимаетъ шаръ. Въ какихъ мѣстахъ комнаты съ натопленной печкой шаръ идетъ вверхъ, въ какихъ внизъ? Что будетъ съ нимъ въ дверяхъ между двумя комнатами неодинаковой температуры?—Въ какихъ двухъ преобладающихъ направленіяхъ долженъ перемѣщаться воздухъ на земной поверхности, если принять во вниманіе различіе температуры полярныхъ и экваторіальныхъ странъ? Въ какихъ направленіяхъ будетъ двигаться воздухъ въ нижнихъ и верхнихъ слояхъ атмосферы? — **456**. Въ чемъ неправильность обычнаго выраженія: „тяга“ печи, камина? Дѣйствительно ли печная труба „тянетъ“ въ себя воздухъ? Какъ слѣдовало бы выразиться правильнѣе? — Обыкновенно думаютъ, что вентиляторъ, установленный въ отверстіи печной трубы (или окна), *производитъ* своимъ вращеніемъ тягу. Но почему же вертится вентиляторъ? Не есть ли его вращеніе только *послѣдствіе* уже существующаго тока воздуха (тяги)? — Если держать руку *надъ* пламенемъ свѣчи и сбоку около него, то разница въ ощущеніи будетъ очень большая. Почему? Чѣмъ главнымъ образомъ нагрѣвается рука въ первомъ случаѣ? Что ее нагрѣваетъ во второмъ? Почему въ послѣднемъ случаѣ нельзя объяснить передачу теплоты теплопроводностью воздуха, находящагося между рукою и пламенемъ? Кромѣ малой теплопроводности, что еще мѣшаетъ передачѣ теплоты воздухомъ? Остается ли этотъ воздухъ на мѣстѣ?—Почему керосиновая лампа, которую трудно погасить, если

[1] Она быть можетъ еще ниже самой низкой температуры, достигнутой искусственно (см. § 448).

дуть снизу въ сѣтку (въ поддувало), тотчасъ гаснетъ, если только дунуть, хотя бы слабо, сверху въ отверстіе стекла? *Отв.* Въ послѣднемъ случаѣ пламя гаснетъ въ собственныхъ продуктахъ горѣнія, такъ какъ движеніе газовъ вверхъ задерживается.—Если держать шарикъ термометра вблизи куска льду, *надъ* и *подъ* нимъ, то будетъ ли разница въ быстротѣ охлажденія термометра? Какая и почему?—**460**. Предметы вокругъ натопленной печи нагрѣваются, между прочимъ, исходящими отъ нея лучами и, въ свою очередь, испускаютъ лучи по направленію къ печи; почему же температура печи не продолжаетъ отъ этого повышаться?—Если бы земля имѣла ту же температуру, что и солнце, то стала ли бы температура земли еще повышаться отъ дѣйствія солнечныхъ лучей?—**451** и слѣд., до **462**. Указать на характерныя черты различія между тремя способами распространенія теплоты: путемъ теплопроводности, теченіями (переносомъ) и лучами. — Однимъ изъ важныхъ условій теплового обмѣна между нашимъ тѣломъ и окружающей средою является движеніе воздуха (вѣтеръ). Отчего въ вѣтряную погоду, при той же самой температурѣ, намъ обыкновенно холоднѣе, чѣмъ въ тихую? Одинаковое ли количество теплоты въ данное время теряетъ наше тѣло въ томъ и другомъ случаѣ? Если воздухъ и какой нибудь предметъ имѣютъ совершенно одинаковую температуру, то будетъ ли движеніе воздуха охлаждать предметъ?—Если температура воздуха выше температуры нашего тѣла, то какое ощущеніе можетъ быть при вѣтрѣ? („Горячее дыханіе“ вѣтра въ пустыняхъ жаркихъ странъ). — Какую роль въ упомянутыхъ случаяхъ играетъ влага на поверхности предмета, испарина на поверхности нашего тѣла? (См. § 440).

---

466. Паровозъ вѣсомъ въ 50 тоннъ движетъ товарный поѣздъ въ 250 тоннъ (примѣрно 15 сполна нагруженныхъ вагоновъ) со скоростью 10 м./сек. (ок. 35 верстъ въ часъ — обыкновенная скорость хода товарнаго поѣзда). Считая, что сопротивленія движенію (треніе, сопротивленіе воздуха) преодолѣваются тягою въ 5 кг. на каждую тонну поѣзда, опредѣлить мощность работы паровоза въ этомъ случаѣ. *Отв.* Общій вѣсъ поѣзда 300 тоннъ, слѣдов. сила тяги паровоза $300.5 = 1500$ кг. Путь, проходимый въ секунду, $= 10$ м.; слѣдов. *работа въ секунду* $= 15000$ кг.-м., т. е. $\frac{15000}{75} = 200$ паров. лошадямъ.—Полный потокъ р. *Ніагары* проноситъ въ 1 секунду 7780 куб. метровъ воды чрезъ водопадъ. Вся высота паденія (если считать отъ начала быстринъ рѣки, приблиз. на $1^1/_2$ версты выше самаго водопада) до уровня рѣки тотчасъ за мѣстомъ водопада—около 66 м. Какова рабочая мощность водопада въ пар. лошадяхъ? *Отв.* Такъ какъ 7780 куб. м. воды вѣсятъ 7780000 килогр., то работа падающей воды $= 7780000 \times 66 = 513480000$ кг.-м. въ секунду (округленно $^1/_2$ милліарда кг.-м. въ сек.), т. е. около 6800000 паров. лошадей.—

Какую долю паровой лошади составляетъ мощность рабочаго, который въ теченіе *часа*, работая равномѣрно, совершаетъ 27000 кг.-м. работы? *Отв.* $^1/_{10}$.—Въ альпійскихъ мѣстностяхъ считаютъ, что хорошій горный ходокъ по не слишкомъ крутымъ дорогамъ обыкновенно поднимается въ часъ на 300 м. Выразить мощность работы въ паров. лошадяхъ и въ киловаттахъ, принявъ вѣсъ ходока = 75 кг. (ок. 4,6 пуд.). *Отв.* $\frac{75.300}{3600.75} = {}^1/_{12}$ пар. лошади, или $\frac{1}{16}$ киловатта. — Положимъ, человѣкъ вѣсомъ въ 5 пудовъ, сильно спѣша, взбѣгаетъ по лѣстницѣ на высоту 60 ф. (примѣрно высота 5-го этажа) въ теченіе 20 секундъ. Сравнить мощность работы въ этомъ случаѣ съ мощностью паровой лошади. *Отв.* 15 пдф. въ секунду, что соотвѣтствуетъ 1 паров. лошади.— **467**. Считая, что современныя машины большихъ океанскихъ пароходовъ сжигаютъ въ лучшемъ случаѣ 0,55 кг. угля въ часъ на каждую паровую лошадь, найти, какая часть всей доставляемой углемъ теплоты расходуется ими на *полезную работу*. Килограммъ угля (антрацита) даетъ при сгораніи около 7800 б. калорій. *Отв.* Вся теплота сгоранія 0,55 кг. угля соотвѣтствуетъ 428.7800.0,55 = округленно 1836000 кг.-м.; паровая лошадь доставляетъ въ *часъ* 75.3600 = 270000 кг.-м.; отношеніе этого числа къ предыдущему $^{270}/_{1836} = 14,7\%$.

---

468. Разстояніе въ 1416 килом. вдоль Германіи отъ русской границы (Эйдкуненъ) до французской (Herbesthal) „нордъ-экспрессъ“ проходитъ въ $22^1/_2$ часа; разстоянія 583 км. отъ Берлина до Кёльна и 588 км. между Парижемъ и Бордо проходятся скорыми поѣздами соотвѣтственно въ 8 час. и въ 6 час. 54 мин. Какова *средняя проѣздная скорость* [1] этихъ поѣздовъ въ вер/час., если принять 1 км.=$^{15}/_{16}$ версты? *Отв.* Въ округленныхъ числахъ 59, 68 и 80 верстъ въ часъ.

---

[1] Слѣдуетъ отличать среднюю „проѣздную скорость“ (средн. скорость перемѣщенія, включая остановки въ пути) отъ средней скорости *движенія* или *хода* поѣзда (т. е. выключая все время остановокъ). Практически конечно важна именно первая. Средняя проѣздная скорость курьерскаго поѣзда николаевской ж. д. — при длинѣ въ 604 в. и времени переѣзда въ 11 час. — выходитъ почти 55 вер/час. Вообще же у насъ, вслѣдствіе сравнительно длинныхъ остановокъ и болѣе медленнаго хода, средняя скорость проѣзда на пассажирскихъ поѣздахъ (въ особенности на большихъ разстояніяхъ) далеко отстаетъ отъ таковой же въ З. Европѣ.

XXVII.

Объ энергіи, ея превращеніяхъ и о законѣ сохраненія энергіи.

Энергія и ея превращенія.

469. Мы имѣли уже достаточно случаевъ утвердиться въ мысли, что главная задача физики — раскрытіе взаимной связи явленій. Въ этомъ отношеніи понятіе о работѣ поможетъ намъ сдѣлать крупный шагъ впередъ.

Все окружающее насъ постоянно измѣняется, и каждое мгновеніе міръ отличенъ отъ того, какимъ онъ былъ мгновеніемъ раньше. Дѣло изученія природы сильно выигрываетъ, когда въ вѣчной смѣнѣ явленій удается отыскать нѣчто, остающееся неизмѣннымъ въ количествѣ при всевозможныхъ преобразованіяхъ. Въ гл. XII и XIII мы уже видѣли это на примѣрѣ закона сохраненія массы вещества. Изученіе превращеній вещества очень облегчается увѣренностью въ томъ, что общее количество вещества при всякихъ его измѣненіяхъ остается постояннымъ. Нѣчто подобное можно сказать и о работѣ. Но относящійся сюда великій законъ природы лучше выражается съ помощью другого термина, играющаго очень важную роль въ физикѣ и родственныхъ ей наукахъ. Этотъ терминъ, съ которымъ мы уже встрѣчались выше,—энергія.

470*. Принято говорить, что энергіей обладаютъ всякое тѣло или всякая совокупность тѣлъ, которыя способны при извѣстныхъ условіяхъ совершать работу. Чѣмъ больше работа, которую они могутъ совершить, тѣмъ вообще больше запасъ ихъ энергіи.

Энергіей обладаетъ всякое движущееся тѣло. Это можно сказать какъ о твердомъ или жидкомъ тѣлѣ (привести примѣры, см. также § 410), такъ и о

газообразномъ. Опустошенія, производимыя бурею, ясно показываютъ, что быстро движущаяся большая масса воздуха обладаетъ огромной энергіей; но источникомъ работы является конечно и самое слабое дуновеніе, могущее сдвинуть лишь пылинку.

Любое тѣло, приподнятое надъ земною поверхностью, обладаетъ энергіей, которая и проявляется при его паденіи тѣми или иными дѣйствіями, той или иною работою. (Примѣры; см. также § 409).

Но и *всякій лежащій на землѣ предметъ* обладаетъ энергіей въ томъ же самомъ смыслѣ, потому что можетъ, падая вглубь, сдѣлаться источникомъ работы.— Въ подобныхъ случаяхъ энергія обусловливается очевидно тѣмъ или инымъ *положеніемъ* тѣла относительно центра земли, такъ какъ наши выраженія „выше" и „ниже" связаны именно съ разстояніемъ тѣла отъ земного центра.

Что бо̀льшая или меньшая энергія свойственна *сжатой или растянутой пружинѣ, сжатому газу*,—вообще тѣлу, котораго форма или объемъ были насильственно измѣнены,—это тоже едва-ли нуждается въ поясненіяхъ.

471. Кромѣ поименованныхъ *механическихъ* видовъ или формъ энергіи, легко указать и другія. Мы знаемъ, что *нагрѣтый предметъ* можетъ, расходуя свою теплоту, произвести ту или иную работу: онъ *можетъ быть источникомъ работы*. Охлаждая тѣло, т. е. отнимая отъ него теплоту, мы не въ состояніи лишить его всей теплоты; поэтому даже при самыхъ низкихъ достижимыхъ искусственно температурахъ тѣло содержитъ еще запасъ теплоты и будетъ источникомъ энергіи по отношенію къ другимъ тѣламъ, которыхъ температура ниже.

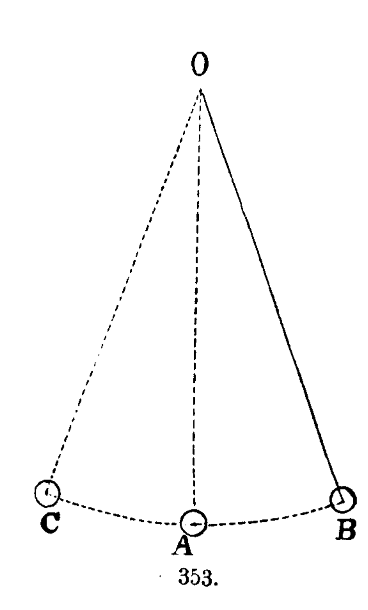
Смѣсь водорода съ кислородомъ (гремучій газъ) обладаетъ энергіей, которая именно обнаруживается — при поднесеніи пламени—взрывомъ со всѣми его разрушительными дѣйствіями. Вообще *энергіей обладаетъ всякое сочетаніе или всякая смѣсь тѣлъ, могущихъ взаимодѣйствовать химически съ развитіемъ теплоты*. (Еще примѣры: уголь и кислородъ; горючій матерьялъ спички и кислородъ; смѣсь угля, селитры и сѣры, образующая черный порохъ, и пр.).

Обратимъ затѣмъ наше вниманіе на *излученіе солнца*. Солнечные лучи, согрѣвающіе землю, производящіе на ней непрерывный круговоротъ воды, воздушныя и морскія теченія, круговоротъ углерода, на которомъ зиждется вся органическая жизнь, несомнѣнно представляютъ собою источникъ энергіи—источникъ, говоря практически, неисчерпаемый. Но, какъ указано было выше, солнечный лучъ есть лишь характерный образецъ обширной области явленій, бо̀льшая часть которыхъ совершенно недоступна для нашего глаза, — области, къ которой тоже примѣнимо названіе „лучей". *Всякое излученіе есть источникъ энергіи.*

Съ еще нѣсколькими видами энергіи мы познакомимся ниже.

472. *Энергія можетъ вполнѣ или частью преобразовываться изъ одного вида въ другой.* Съ примѣрами преобразованія или *превращенія энергіи* мы встрѣчаемся на каждомъ шагу: можно сказать, что всякое проявленіе энергіи, всякое производимое ею дѣйствіе, сопровождается тѣми или иными ея преобразованіями. И каждый разъ, какъ энергія тѣла или системы тѣлъ производитъ какія либо дѣйствія, она *расходуется*, т. е. наличный запасъ даннаго вида энергіи уменьшается,— если только расходъ не пополняется изъ посторонняго источника. Положимъ напр., что грузъ поднятъ нами на нѣкоторую высоту надъ землею: тѣмъ самымъ конечно увеличенъ тотъ запасъ его энергіи, который связанъ съ положеніемъ груза относительно центра земли,—запасъ, какъ именно принято говорить, „энергіи положенія". Предоставимъ грузъ самому себѣ: онъ станетъ падать, двигаться, пріобрѣтая такимъ образомъ энергію движенія, но утрачивая энергію положенія: по мѣрѣ паденія груза, скорость его возрастаетъ и слѣдов. *энергія движенія увеличивается*, между тѣмъ какъ *энергія положенія уменьшается*, потому что, чѣмъ меньше высота груза надъ землею, тѣмъ конечно меньше тѣ дѣйствія, которыя онъ могъ бы произвести, начавъ падать съ этой высоты. Въ моментъ достиженія земли энергія движенія груза достигаетъ наибольшей величины, тогда какъ вся энергія положенія, сообщенная грузу поднятіемъ, имъ уже утрачена.

Преобразованія энергіи положенія въ энергію движенія и обратно превосходно прослѣживаются на примѣрѣ качаній маятника. Отклонивъ маятникъ (состоящій изъ подвѣшеннаго на нити грузика, рис. 353) отъ положенія равновѣсія, мы тѣмъ самымъ приподнимаемъ подвѣсокъ и слѣдов. сообщаемъ ему нѣкоторый новый запасъ энергіи положенія. Если отнимемъ руку, то подвѣсокъ начнетъ двигаться по дугѣ *BC*, приближаясь къ землѣ, — падать. Какъ и при свободномъ паденіи (въ разобранномъ раньше примѣрѣ), энергія движенія подвѣска при этомъ увеличивается, — потому что возрастаетъ скорость движенія массы,—а энергія положенія уменьшается; въ моментъ прохода чрезъ положеніе равновѣсія (*A*) вся энергія подвѣска, сообщенная ему поднятіемъ, превращается уже въ энергію движенія, которая въ этотъ моментъ достигаетъ наибольшей величины. Во второй половинѣ пути происходитъ обратное—преобразованіе энергіи движенія въ энергію положенія: первая мало по малу уменьшается, а вторая возрастаетъ. Колебанія маятника представляютъ намъ одинъ изъ простѣйшихъ примѣровъ ряда послѣдовательныхъ превращеній энергіи положенія въ энергію движенія и обратно.



353.

Положимъ еще, что мы сжали пружину и тѣмъ сообщили ей нѣкоторый запасъ энергіи. Если предоставимъ пружину самой себѣ, она расширится и можетъ толкнуть какое нибудь прикасающееся къ ней тѣло: послѣднее пріобрѣтаетъ тогда энергію движенія на счетъ сжатой пружины. (Ходъ пружинныхъ часовъ).

473. Многочисленные примѣры преобразованія энергіи движущихся тѣлъ въ тепловую форму энергіи мы имѣемъ во всѣхъ случаяхъ развитія теплоты при треніи и ударѣ. Всякое тѣло, движущееся въ земной обстановкѣ, расходуетъ энергію движенія на работу противъ тренія и сопротивленія воздуха, вслѣдствіе чего и останавливается, если расходъ энергіи не пополняется какимъ нибудь двигателемъ. Наоборотъ, въ дѣйствующей паровой (вообще тепловой) машинѣ мы встрѣчаемъ случай преобразованія части тепловой энергіи въ механическую.

„Химическая энергія“ пороха и другихъ взрывчатыхъ веществъ преобразовывается въ моментъ взрыва въ тепловую, а послѣдняя—въ механическую, напр. энергію движенія пули или снаряда. Химическая энергія, свойственная топливу и кислороду, превращаясь при сгораніи топлива въ тепловую, даетъ намъ необходимую для согрѣванія нашихъ жилищъ теплоту. Собственно и работа, доставляемая паровою машиною, является слѣдствіемъ превращенія химической энергіи — чрезъ посредство тепловой—въ энергію движенія частей машины. Химическая энергія, присущая нѣкоторымъ составнымъ частямъ нашего тѣла, превращаясь въ тепловую и механическую, поддерживаетъ постоянную температуру и дѣятельность живого организма.

Наконецъ цѣлый рядъ примѣровъ превращенія лучистой энергіи солнца въ другіе виды энергіи представляетъ намъ многое изъ того, что совершается на земной поверхности, въ океанахъ и въ атмосферѣ.

474. Энергія есть нѣчто, къ чему примѣнимы выраженія больше и меньше: ее можно измѣрять. Энергія измѣряется той работою, которую тѣло или совокупность тѣлъ могутъ совершить. За единицу работы, какъ мы уже знаемъ, можно принять работу поднятія груза въ 1 килограммъ на высоту 1 метра. Въ частномъ случаѣ, когда все дѣйствіе, производимое какимъ либо видомъ энергіи, ограничивается поднятіемъ тѣла по вертикальному направленію, израсходованная на поднятіе энергія прямо измѣряется работою поднятія, т. е., выражаясь кратко, произведеніемъ вѣса тѣла на высоту поднятія. Въ болѣе общемъ случаѣ энергія, израсходованная на перемѣщеніе тѣла, измѣряется работою перемѣщенія, т. е. произведеніемъ преодолѣваемаго сопротивленія (выраженнаго напр. въ килограммахъ, пудахъ и т. п.) на пройденный путь. „Совершать работу“—въ указанномъ здѣсь смыслѣ — именно и значитъ расходовать какой либо видъ энергіи.

Итакъ приходо-расходъ механической энергіи можетъ

быть измѣряемъ килограмметрами. Но мы видѣли, что механическая энергія можетъ преобразовываться въ теплоту или обратно, и что 428 кг.-м. механической энергіи равнозначны тому количеству теплоты, которымъ можно нагрѣть 1 кг. воды на 1° Ц. Какими бы путями не совершалось преобразованіе механической энергіи въ теплоту или обратно, указанное соотношеніе остается неизмѣннымъ. Подчеркивая эту тѣсную взаимную связь между двумя повидимому столь различными областями явленій, употребляютъ выраженія теплота и тепловая энергія безразлично одно вмѣсто другого.

Законъ сохраненія энергіи.

475. Обратимся теперь къ тому, какъ надо понимать положеніе о „сохраненіи“ количества энергіи въ природѣ. Разберемъ сперва нѣсколько болѣе простыхъ примѣровъ.

Энергія движущагося тѣла очевидно тѣмъ больше, чѣмъ больше его масса и его скорость. Положимъ, тѣло получило толчекъ, заставившій его двигаться по горизонтальной плоскости: ему былъ сообщенъ нѣкоторый запасъ механической энергіи. Какъ извѣстно, тѣло движется послѣ толчка лишь нѣкоторое время и наконецъ останавливается. Слѣдовательно сообщенная тѣлу энергія изсякаетъ. Но исчезаетъ ли она безслѣдно? Конечно нѣтъ. Двигавшееся тѣло, преодолѣвая тѣ или иныя сопротивленія, произвело на своемъ пути цѣлый рядъ перемѣнъ: оно привело въ движеніе нѣкоторую массу воздуха, оставило слѣдъ своего движенія на плоскости, измѣнивъ расположеніе поверхностныхъ частицъ, само нѣсколько измѣнилось съ поверхности, наконецъ, вслѣдствіе тренія о плоскость и воздухъ, произвело повышеніе температуры въ мѣстахъ соприкосновенія. Нѣкоторыя изъ этихъ измѣненій могутъ быть и неуловимы по своей малости; но въ томъ, что они происходятъ, нельзя сомнѣваться, и стоитъ лишь представить себѣ массивное, грузное тѣло, движущееся съ большою скоростью, чтобы всѣ названныя дѣйствія (и еще разныя другія) стали очевидными, а нѣкоторыя—прямо разрушительными. Тѣло конечно потому и останавливается, что сообщенная ему энергія тратится на названныя дѣйствія. Еслибы можно было устранить всѣ внѣшнія вліянія, т. е. предоставить тѣло только самому себѣ, то запасенная въ немъ энергія не расходовалась бы; тѣло сохраняло бы безъ измѣненія свою первоначальную скорость.

Положимъ еще, что мы начинаемъ вращать маховое колесо. Чтобы сообщить ему требуемую скорость (чтобы, какъ говорится, „развертѣть“ колесо), нужно — это знаетъ каждый—преодолѣть нѣкоторое сопротивленіе, т. е. затратить нѣкоторую работу. Вращающійся маховикъ пріобрѣлъ извѣстный запасъ энергіи, тѣмъ большій, чѣмъ больше его скорость и его масса. Предоставленный затѣмъ самому себѣ, маховикъ расходуетъ энергію на преодолѣніе различныхъ сопротивленій и на нагрѣваніе трущихся частей. Пусть приняты мѣры для уменьшенія сопротивленій: маховикъ будетъ вращаться все дольше и дольше. Если бы внѣшнихъ воздѣйствій на него совсѣмъ не было (слѣдов. не происходило бы и изнашиванія трущихся частей), то маховикъ никогда не остановился бы; сообщенная ему энергія всегда сохраняла бы свою первоначальную величину.

Взглянемъ наконецъ съ этой точки зрѣнія на колебанія маятника. Его качаніе, какъ было указано выше (§ 472), сопровождается рядомъ послѣдовательныхъ переходовъ энергіи движенія въ энергію положенія и обратно. Часть энергіи при каждомъ пробѣгѣ конечно тратится на различныя внѣшнія дѣйствія (преодолѣваніе сопротивленія воздуха, треніе въ точкѣ привѣса и пр.), и маятникъ мало по малу останавливается. Можно утверждать, какъ и въ двухъ разсмотрѣнныхъ выше случаяхъ, что еслибы внѣшнія воздѣйствія были совершенно устранены (условіе неосуществимое въ дѣйствительности), то подвѣсокъ поднимался бы каждый разъ до первоначальной высоты — качанія его никогда не прекратились бы. Другими словами, энергія, сообщенная подвѣску при первомъ поднятіи, сполна сохранялась бы маятникомъ, лишь преобразовываясь изъ энергіи приподнятаго груза въ энергію движущейся массы и обратно.

476. Изъ разобранныхъ примѣровъ мы видимъ, что можно представить себѣ условія, при которыхъ разъ сообщенная тѣлу энергія будетъ въ немъ сохраняться неопредѣленное время; тѣмъ не менѣе въ окружающей обста-

новкѣ мы этого никогда не встрѣчаемъ. Но не надо именно упускать изъ виду того чрезвычайно важнаго обстоятельства, что энергія никогда не исчезаетъ безслѣдно, а всегда расходуется на нѣкоторыя измѣненія въ окружающемъ, и вотъ, тщательно изслѣдуя эти измѣненія, эти дѣйствія, мы снова находимъ весь исчезнувшій запасъ энергіи, хотя обыкновенно уже въ новыхъ видахъ. Учесть всѣ эти дѣйствія—дѣло большею частью нелегкое, требующее разнообразныхъ предварительныхъ свѣдѣній, а иногда и сложныхъ вычисленій.

Обратимъ наше вниманіе въ особенности на развитіе теплоты, такъ какъ появленіемъ этой формы энергіи сопровождается почти всякое механическое дѣйствіе (и многія другія). Зная, что каждая единица теплоты (б. калорія) порождается затратою 428 килограмметровъ работы, мы всегда можемъ по количеству возникшей теплоты судить о количествѣ израсходованной на ея производство механической энергіи. Развитіе теплоты обыкновенно и возмѣщаетъ ту часть механической энергіи тѣла, которая при поверхностномъ наблюденіи кажется исчезнувшей безслѣдно; въ извѣстныхъ случаяхъ вся механическая энергія тѣла замѣняется соотвѣтственнымъ количествомъ теплоты.

Надо замѣтить, что когда явленія происходятъ въ обратномъ порядкѣ, теплота никогда сполна не превращается въ механическую энергію, а частью передается, какъ таковая, отъ болѣе нагрѣтыхъ тѣлъ менѣе нагрѣтымъ (мы уже видѣли это на примѣрѣ паровой машины, § 467 пред. гл.). Но если измѣрить механическую энергію, которая доставлена израсходованною именно на нее долею теплоты, то энергія тоже всегда окажется въ точности возмѣщенною.

477. Распространеніе сказаннаго на всю доступную намъ изслѣдованіямъ природу, на всѣ виды энергіи, приводитъ именно къ закону сохраненія энергіи. При всевозможныхъ явленіяхъ природы энергія не уничтожается и не возникаетъ вновь: она лишь преобразовывается, и всякое исчезновеніе одного вида энергіи возмѣщается появленіемъ равнаго количества энергіи другого или другихъ видовъ.

Законъ сохраненія энергіи утвердился въ наукѣ около средины прошлаго вѣка. Лежащая въ его основѣ мысль была высказана въ началѣ сороковыхъ годовъ Робертомъ Майеромъ въ Германіи; первые опыты, доставившіе надежный матерьялъ для выводовъ, произведены англичаниномъ Джоулемъ; полное же научное обоснованіе закона и распространеніе его на обширный кругъ явленій было дѣломъ знаменитаго германскаго ученаго Германа Гельмгольца.

Какъ видимъ, смыслъ закона сохраненія количества энергіи тотъ же, что и закона сохраненія количества (массы) вещества. Но тогда какъ количество вещества прямо опредѣляется взвѣшиваніемъ, измѣреніе количества энергіи представляетъ гораздо бо̀льшія трудности. Задача каждый разъ состоитъ въ томъ, чтобы найти—путемъ опыта и вычисленія — величину работы, которая можетъ быть совершена израсходованіемъ на нее энергіи, подлежащей измѣренію.

Сдѣлаемъ теперь обзоръ видовъ или формъ энергіи на основаніи матерьяла предшествовавшихъ главъ.

Виды или формы энергіи.

478*. Энергія движущагося тѣла называется короче энергіей движенія или кинетической энергіей. Она конечно тѣмъ больше, чѣмъ больше количество вещества въ тѣлѣ—его масса—и чѣмъ больше скорость его движенія. Хотя о массѣ тѣла мы обыкновенно судимъ по его вѣсу, тѣмъ не менѣе—это очень важно замѣтить—энергія движенія вовсе не связана съ вѣсомостью тѣла. Мы знаемъ изъ гл. VI и VII, что вѣсомость — слѣдствіе нѣкотораго всеобщаго взаимнаго притяженія тѣлъ, и что тѣло, достаточно удаленное отъ всякихъ другихъ, не имѣло бы вѣса. Но если представимъ себѣ именно въ такихъ условіяхъ пушечное ядро, несущееся съ опредѣленною скоростью, то легко согласимся, что оно могло бы, встрѣтивъ препятствіе, совершить ту же работу, какъ еслибы двигалось съ одинаковою скоростью на земной поверхности, гдѣ оно имѣетъ вѣсъ.

Энергія движенія тѣла, при одной и той же скорости, находится въ прямомъ отношеніи къ массѣ—пропорціональна массѣ; отсюда, зная энергію движенія двухъ тѣлъ, имѣющихъ одинаковую скорость, можно сдѣлать заключеніе о сравнительной ихъ массѣ, не взвѣшивая тѣлъ. Зависимость энергіи движенія отъ скорости — сложнѣе.

Если скорость тѣла увеличивается вдвое, то кинетическая энергія возрастаетъ вчетверо, т. е. тѣло будетъ въ состояніи, утрачивая свою скорость, совершить вчетверо больше работы; при утроенной скорости кинетическая энергія въ девять разъ больше и т. д. Короче, энергія движенія тѣла, при одной и той же массѣ, пропорціональна квадрату скорости.

Въ земной обстановкѣ, гдѣ мы имѣемъ дѣло съ вѣсомыми тѣлами, можно слѣдующимъ образомъ выразить въ килограмметрахъ кинетическую энергію тѣла. Опредѣлимъ, на какую высоту поднялось бы тѣло, еслибы оно съ заданною скоростью было брошено отвѣсно вверхъ (и не встрѣчало бы сопротивленія воздуха); зная вѣсъ тѣла, мы тогда найдемъ работу поднятія, т. е. и затраченную на нее кинетическую энергію тѣла. Пусть скорость тѣла выражена числомъ метровъ въ секунду. На основаніи одного изъ выводовъ механики, высоту, до которой поднимется тѣло, находятъ съ достаточнымъ приближеніемъ, раздѣляя квадратъ его первоначальной скорости на 19,6, или округленно на 20. Если обозначимъ скорость буквою v, то высота поднятія будетъ $\frac{v.v}{19,6}=\frac{v^2}{19,6}$ метровъ. Положимъ, что тѣло вѣситъ p килограммовъ. Работа поднятія p килогр. на высоту $\frac{v^2}{19,6}$ метровъ, выражающаяся произведеніемъ вѣса на высоту, будетъ $p\times\frac{v^2}{19,6}$ или $\frac{pv^2}{19,6}$ килограмметровъ [1]. Для примѣра опредѣлимъ, какую работу можетъ совершить пушечное ядро, вѣсящее 196 кг. (12 пуд.) и имѣющее въ моментъ удара скорость 800 м./сек. (375 саж./сек.). Подставивъ данныя въ формулу, получимъ:

$$\frac{pv^2}{19,6}=\frac{196.(800)^2}{19,6}=10.(800)^2=6400000 \text{ кг.-м.}$$

Чтобы составить себѣ понятіе о величинѣ этой работы, изобразимъ ее въ видѣ произведенія 6400×1000, т. е. въ видѣ работы поднятія 6400 килограммовъ на 1000 метровъ. Грузъ въ 6400 кг.=почти 400 пудамъ, а 1000 м. немногимъ меньше версты. Итакъ, еслибы всю энергію снаряда въ моментъ удара можно было израсходовать на поднятіе груза, то 400-пудовый грузъ былъ бы поднятъ на высоту около 1 версты!

479*. Всякія два тѣла стремятся сблизиться—взаимно притягиваются—и слѣдов. могутъ совершать работу. Свойственный имъ видъ энергіи называется энергіей

[1] Если вѣсъ тѣла данъ въ пудахъ, а скорость въ футахъ въ секунду, то его кинетическая энергія въ пудофутахъ находится съ достаточнымъ приближеніемъ по формулѣ $\frac{pv^2}{64}$.

всеобщаго тяготѣнія. Энергія притягивающихся тѣлъ измѣряется всею тою работою, которая могла бы быть совершена тѣлами, еслибы они сблизились до взаимнаго сліянія. Слѣдовательно энергія притягивающихся тѣлъ тѣмъ больше, чѣмъ больше ихъ разстояніе (и конечно чѣмъ больше ихъ масса).

Энергія тѣла, притягиваемаго землею, есть лишь частный случай энергіи всеобщаго тяготѣнія.

480*. Всякое тѣло, объемъ или форма котораго были измѣнены сдавливаніемъ, растяженіемъ и т. п., обладаетъ энергіей, которая называется энергіей упруго-измѣненнаго тѣла. Она измѣряется той работой, которую тѣло могло бы совершить, возвращаясь къ первоначальнымъ объему или формѣ. Всякому запертому въ сосудѣ газу, какъ бы онъ разрѣженъ не былъ, свойственна этого вида энергія: газъ всегда давитъ на стѣнки заключающаго его сосуда.

481*. Названные выше виды механической энергіи обыкновенно подраздѣляются на двѣ группы: одну составляетъ энергія движенія, или кинетическая, другую—остальные виды энергіи. Въ послѣднихъ случаяхъ энергія, какъ легко видѣть, обусловливается тѣмъ или инымъ положеніемъ тѣлъ или частей тѣла относительно другъ друга. Поэтому и самая форма энергіи называется энергіей положенія. Она носитъ еще названіе потенціальной энергіи, т. е. какъ бы энергіи еще не проявившейся или скрытой. (Это слово вообще часто примѣняется для обозначенія запасовъ еще не проявившейся энергіи).

482*. Тепловая энергія, какъ уже было замѣчено выше, тожественна съ теплотою и измѣряется или тепловыми единицами (большая и малая калоріи), или механическими, напр. килограмметрами. Число, показывающее, сколько единицъ работы надо затратить, чтобы произвести единицу теплоты, называется механическимъ эквивалентомъ тепловой единицы или просто механическимъ эквивалентомъ теплоты. Если тепловою единицею служитъ большая калорія (килограммъ—градусъ Ц.), а единицею работы килограмметръ, то механическій эквивалентъ теплоты выражается числомъ 428 (принимаемое нынѣ среднее изъ многихъ опредѣленій). Поэтому также говорятъ, что одна боль-

шая калорія эквивалентна 428 килограмметрамъ работы или механической энергіи—и наоборотъ [1].

Механическая энергія можетъ безъ остатка превращаться въ тепловую (напр. при остановкѣ тѣла вслѣдствіе тренія или при ударѣ); послѣдняя же никогда сполна не преобразовывается въ механическую: часть ея неизбѣжно передается другимъ тѣламъ и разсѣевается въ окружающемъ пространствѣ.

483. Многіе физики склонны разсматривать теплоту какъ энергію движенія частицъ или молекулъ, изъ которыхъ, по изложенной выше (гл. XIII) гипотезѣ состоятъ тѣла. Любопытно будетъ бросить здѣсь взглядъ на вытекающій отсюда способъ толкованія нѣкоторыхъ явленій.

Принимаютъ, что температура тѣла обусловливается быстротой движенія его молекулъ: чѣмъ быстрѣе онѣ движутся, тѣмъ выше температура тѣла. Если такъ, то можно объяснить себѣ, почему при треніи повышается температура въ точкахъ соприкосновенія: треніе приходится разсматривать, какъ рядъ столкновеній или ударовъ между поверхностными молекулами трущихся тѣлъ, вслѣдствіе чего увеличивается быстрота частичнаго движенія. Мало того. Какъ на увеличеніе быстроты движенія какого нибудь тѣла, напр. катящейся по рельсамъ повозки, надо затратить работу, такъ точно она расходуется на усиленіе молекулярнаго движенія при треніи тѣлъ, т. е. на повышеніе температуры.

На нагрѣваніе тѣлъ расходуется теплота. Почему? Потому что при этомъ увеличивается быстрота движенія молекулъ и преодолѣваются существующія между ними связи (молекулярныя силы), слѣдовательно совершается нѣкоторая внутренняя работа. Эта внутренняя работа конечно весьма неодинакова для разныхъ твердыхъ и жидкихъ веществъ, а потому и на нагрѣваніе ихъ расходуются весьма различныя количества теплоты (различія „теплоемкости“, § 401).

При переходѣ тѣлъ изъ твердаго состоянія въ жидкое и газообразное, внутренняя работа также должна быть весьма различна въ разныхъ случаяхъ, чѣмъ и объясняются большія различія въ количествахъ теплоты, расходуемой на плавленіе и испареніе разныхъ тѣлъ.

Какъ было уже упомянуто въ § 219, отличіе химически-сложнаго тѣла отъ простого сводится къ тому, что молекула сложнаго тѣла составлена изъ разнородныхъ атомовъ, а

[1] Если за единицу теплоты принять то ея количество, которое нагрѣваетъ 1 ф. воды на 1° Р., а за единицу работы — пудофутъ, то механическій эквивалентъ теплоты выразится круглымъ счетомъ 44 пудофутами.

простого — изъ однородныхъ (одинаковыхъ), причемъ атомы, вообще говоря, связаны между собою гораздо прочнѣе, чѣмъ молекулы. На разложеніе сложнаго тѣла, т. е. на преодолѣніе междуатомныхъ связей, тоже должна расходоваться работа. Какъ велика она бываетъ въ случаѣ нѣкоторыхъ очень „прочныхъ“ (трудно разлагающихся) химическихъ соединеній, показываетъ примѣръ воды: полное разложеніе 1 килограмма водяного пара на водородъ и кислородъ требуетъ затраты около 3200 б. калорій, которыя равнозначны работѣ поднятія примѣрно 850 пудовъ на 50 саженъ!

484. Теперь спрашивается, какъ объяснить себѣ развитіе теплоты, когда происходятъ превращенія обратныя выше разсмотрѣннымъ—при затвердѣваніи, сжиженіи, при химическомъ соединеніи тѣлъ? Чтобы хотя сколько нибудь освѣтить этотъ вопросъ, мы воспользуемся слѣдующимъ сравненіемъ. Поднимая какой нибудь грузъ, мы расходуемъ энергію на то, чтобы измѣнить положеніе груза относительно земли, и всю израсходованную нами энергію мы можемъ получить обратно, если дадимъ грузу упасть до прежней высоты — предоставимъ ему вернуться въ прежнее положеніе. Нѣчто подобное вѣроятно происходитъ и при названныхъ нами тепловыхъ явленіяхъ. Когда напр. твердое тѣло переходитъ въ жидкое состояніе, относительное расположеніе его частицъ измѣняется, и на перемѣщеніе ихъ расходуется энергія, такъ какъ совершается работа противъ взаимнаго притяженія частицъ, притяженія, которое можно пожалуй уподобить притяженію между землею и грузомъ. При надлежащихъ условіяхъ, когда молекулы получаютъ возможность снова перемѣститься въ прежнее положеніе,—это соотвѣтствуетъ какъ бы паденію груза,—движеніе ихъ усиливается, что и сказывается повышеніемъ температуры. Итакъ теплота, воспринятая тѣломъ при плавленіи, хотя и не увеличиваетъ быстроты движенія его частицъ, т. е. не нагрѣваетъ его, тѣмъ не менѣе сообщаетъ его частицамъ бóльшій запасъ энергіи, который снова и возвращается въ видѣ теплоты при затвердѣваніи. Это выражаютъ еще, говоря, что теплота, расходуемая на плавленіе тѣла, преобразовывается въ скрытую или потенціальную энергію частицъ; при обратномъ переходѣ послѣдняя снова превращается въ кинетическую энергію молекулъ, т. е. въ теплоту.

Надо впрочемъ замѣтить, что тѣсная связь между теплотою и работой, выражающаяся эквивалентностью теплоты и работы, существуетъ помимо всякихъ догадокъ о сущности теплоты и распространяется нынѣ на широкій кругъ явленій. Съ ними мы еще будемъ имѣть случаи встрѣтиться дальше.

485. Тѣламъ, которыя способны взаимодѣйствовать химически, образуя новыя тѣла, приписываютъ особый видъ энергіи, называемой химической энергіей; ее раз-

сматриваютъ частью какъ энергію особаго междуатомнаго притяженія. Насчетъ этой энергіи возникаетъ теплота, развивающаяся въ процессѣ химическаго взаимодѣйствія.

При химическомъ соединеніи тѣлъ, разнородные атомы, перемѣщаясь въ новыя положенія, расходуютъ часть своей потенціальной энергіи на увеличеніе быстроты молекулярнаго движенія, и температура тѣлъ повышается. Въ случаѣ такихъ веществъ, какъ водородъ и кислородъ или уголь и кислородъ, разнородные атомы устремляются другъ къ другу съ большою скоростью: отсюда огромное количество теплоты, доставляемое нашими горючими матерьялами.

486. Энергія, присущая солнечнымъ и инымъ лучамъ, называется лучистой энергіей и разсматривается какъ энергія волнообразнаго движенія, распространяющагося въ міровомъ эфирѣ. Поглощаясь въ бо̀льшей или меньшей степени тѣлами, лучистая энергія преобразовывается въ тепловую, химическую и другіе виды энергіи. Есть возможность осуществить превращеніе лучистой энергіи почти сполна въ тепловую: количество теплоты и служитъ тогда мѣрою преобразовавшейся въ нее лучистой энергіи.

487*. Итакъ энергія съ ея превращеніями есть то, что связываетъ между собою разнороднѣйшія явленія. Каждое происходящее въ тѣлахъ измѣненіе сопровождается приходомъ, расходомъ или преобразованіемъ энергіи. Если мы вернемся къ § 450, въ которомъ былъ поименованъ рядъ послѣдовательныхъ измѣненій, производимыхъ сообщеніемъ теплоты куску льда, вплоть до раскаленной смѣси водорода и кислорода, то теперь увидимъ, что этотъ рядъ превращеній идетъ рука объ руку съ приходомъ энергіи — съ возрастаніемъ запаса энергіи въ тѣлѣ; обратный рядъ превращеній соотвѣтствуетъ убыли этого запаса. Что запасъ энергіи въ гремучемъ газѣ (смѣси 1 объема кислорода съ 2 объемами водорода) во много разъ превышаетъ запасъ ея въ томъ же самомъ количествѣ льда—очень наглядно свидѣтельствуетъ сильный взрывъ гремучаго газа при поднесеніи пламени: огромною работою взрыва выражается именно быстрое превращеніе большого запаса (химической) энергіи въ тепловую и механическую.

Грузъ, приподнятый надъ землею, и кусокъ угля, соприкасающійся съ кислородомъ воздуха, съ излагаемой нами точки зрѣнія, представляютъ собою запасы энергіи, связанные взаимными превращеніями. И особенно важно то, что мы имѣемъ общую мѣру для приходо-расхода разныхъ видовъ энергіи, благодаря чему можемъ рѣшать множество количественныхъ вопро-

совъ, касающихся преобразованій энергіи. Вотъ нѣсколько примѣровъ (см. также примѣры §§ 417 и 478).

1) Съ какой высоты долженъ упасть пудовый грузъ (пудъ= 16 кгр.), чтобы развившееся въ моментъ удара количество теплоты равнялось тому, которое доставляется сжиганіемъ 1 гр. $\left(\frac{1}{4}\text{ зол.}\right)$ угля? Отв. Сжиганіе 1 гр. угля дастъ 8 большихъ калорій (потому что 1 кг. даетъ 8000, см. § 405). Паденіе 1 кг. съ высоты 428 м., или 200 сажень, развиваетъ при ударѣ 1 б. калорію; требуемыя 8 калорій получатся при паденіи 8 кг. съ высоты 428 м., или 16 кг. (1 пуда) съ высоты 214 м., т. е. 100 сажень.

2) Сколько теплоты разовьется при остановкѣ (ударѣ о мишень) того снаряда, кинетическая энергія котораго была вычислена выше, въ § 478, и на сколько градусовъ могъ бы нагрѣться желѣзный снарядъ, если бы теплота не терялась на стороны? Отв. Такъ какъ 428 кг.-м. механической энергіи соотвѣтствуютъ 1 б. калоріи, то 6400000 кг.-м. дадутъ $\frac{6400000}{428}$ или круглымъ счетомъ 14960 калорій. Теплоемкость желѣза близка къ $^1/_9$: поэтому для нагрѣванія на 1° Ц. желѣзной массы, вѣсящей 196 кг., нужно $^{196}/_9$, или почти 22 калоріи; слѣдов. развившіяся 14960 калорій нагрѣли бы снарядъ на $\frac{14960}{22}$=680° Ц., т. е. до-красна.— Еслибы требовалось знать не общее количество теплоты, а лишь найти, на сколько градусовъ нагрѣется тѣло, то при вычисленіи кинетической энергіи можно принять его вѣсъ равнымъ 1 кг., потому что каждый килограммъ тѣла нагрѣвается на одно и то же число градусовъ.

3) Теплоемкость свинца (0,031 или $^1/_{32}$) меньше, чѣмъ желѣза (0,112 или $^1/_9$); свинецъ плавится при 325° Ц. Спрашивается, достаточно ли развивающейся въ моментъ удара теплоты (предыдущ. вопр.), чтобы расплавить всю массу, еслибы она была изъ свинца? На расплавленіе 1 килограмма свинца, уже нагрѣтаго до температуры плавленія, расходуется 5,4 б. калорій. Отв. Примемъ вѣсъ свинца равнымъ 1 кг. и сдѣлаемъ вычисленіе упрощенно, взявъ для энергіи движенія $\frac{v^2}{20}=\frac{800^2}{20}=32000$ кг.-м. Эта энергія эквивалентна $\frac{32000}{428}$, или приблиз. 75 калоріямъ. Пусть первоначальная температура свинца была 15° Ц.; онъ долженъ быть 1) нагрѣтъ до 325°, т. е. на 310° и 2) расплавленъ.

Для нагрѣв. 1 кг. свинца на 310° нужно 0,031×310=	9,6 кал.
Для расплавл. 1 кг. свинца „	5,4 „
Всего	15,0 кал.

Такъ какъ развивающееся при ударѣ количество теплоты (на каждый килограммъ массы) гораздо больше этого, то весь

свинецъ будетъ расплавленъ и еще нагрѣтъ значительно выше температуры плавленія.

4) Солнечные лучи въ значительной мѣрѣ задерживаются атмосферою; оцѣнивая общее тепловое ихъ дѣйствіе на землю, стараются опредѣлить приходъ энергіи въ случаѣ, еслибы опредѣленіе производилось внѣ предѣловъ атмосферы. Приблизительная оцѣнка показываетъ, что при такихъ условіяхъ количество солнечной энергіи, падающей перпендикулярно на площадь въ 1 квадратный метръ, развиваетъ въ минуту около 30 большихъ калорій. Выразимъ быстроту прихода энергіи въ килограмметрахъ въ секунду, въ киловаттахъ и въ паровыхъ лошадяхъ. Приходъ въ минуту составляетъ 428.30=12840 кг.-м. (примѣрно работа поднятія 8 пуд. на 50 саж.), а въ секунду 214 кг.-м., что слѣдовательно соотвѣтствуетъ мощности въ 2 слишкомъ киловатта или около 3 паровыхъ лошадей (см. § 466).—Приходъ солнечной энергіи для всей земли оцѣнивается въ 27000 билліоновъ килограметровъ въ секунду, что отвѣчаетъ мощности въ 360 билліоновъ паровыхъ лошадей.

О быстротѣ превращеній энергіи.

488*. Не слѣдуетъ упускать изъ виду одной важной стороны дѣла, которой мы выше касались лишь попутно. Превращенія энергіи могутъ происходить съ чрезвычайно различною быстротою; съ этимъ тѣснѣйшимъ образомъ связана, такъ сказать, напряженность или эффектность явленій. Чѣмъ меньше время, въ теченіе котораго данное количество энергіи преобразовывается въ новыя формы, или чѣмъ больше энергіи преобразовывается въ данное время, тѣмъ дѣйствія „сильнѣе“, эффектнѣе.

Возьмемъ нѣсколько примѣровъ очень быстро протекающихъ явленій. Почему разныя дѣйствія бываютъ особенно сильны при ударѣ тѣлъ? Потому именно, что запасъ энергіи ударяющихся тѣлъ расходуется на эти дѣйствія въ теченіе очень короткаго времени. При ударѣ чугунной бабы о сваю, въ ничтожнѣйшую долю секунды расходуется та энергія, которая была сообщена чугунной массѣ работою ея поднятія. Ударяя молоткомъ, мы почти мгновенно преобразовываемъ въ новыя формы энергію, сообщенную молотку работою нашей руки. Въ моментъ удара ружейной пули расходуется энергія, которая была сообщена пулѣ работою пороховыхъ газовъ на всемъ протяженіи ружейнаго ствола. Разрушительныя дѣйствія, производимыя сошедшимъ съ рельсовъ поѣздомъ, связаны съ быстрымъ расходованіемъ запасенной въ немъ кинетической энергіи на преодолѣніе встрѣтившихся препятствій. Огромный эффектъ взрыва гремучаго газа, пороха, динамита и пр. объясняется тоже почти мгновеннымъ преобразованіемъ ихъ потенціальной (химической) энергіи въ энергію движенія и т. п. Еслибы энергія, превращающаяся въ другія формы почти мгновенно при ударѣ или взрывѣ, расходовалась постепенно, въ теченіе долгаго времени, то произошли бы явленія гораздо менѣе эффектныя, даже прямо ничтожныя съ виду. Извѣстна большая разрушительная сила взрыва свѣтильнаго газа, когда значительное количество его, смѣшанное съ воздухомъ, сгораетъ въ очень короткое время; тотъ же газъ при постепенномъ сжиганіи является хорошимъ, вполнѣ безопаснымъ топливомъ, могущимъ производить то или иное полезное дѣйствіе. (Въ разнаго рода газовыхъ и бензинныхъ двигателяхъ мы имѣемъ весьма обычные примѣры расходованія энергіи ряда послѣдовательныхъ взрывовъ на полезную работу). Еслибы тѣ 6400000 килограмметровъ кинетической энергіи, которые были сообщены артиллерійскому снаряду работою пороховыхъ газовъ (см. примѣръ § 478), можно было постепенно расходовать въ теченіе сутокъ, то получилась бы возможность двигать ею лишь нѣсколько небольшихъ токарныхъ станковъ.

Въ случаѣ явленій, протекающихъ постепенно и болѣе или менѣе равномѣрно, о быстротѣ превращенія обыкновенно судятъ по количеству энергіи, которое преобразовывается въ единицу времени, въ секунду. Мы уже встрѣчались съ этимъ на примѣрѣ паровыхъ машинъ, „рабочая мощность“ которыхъ оцѣнивается по быстротѣ преобразованія тепловой энергіи въ механическую, т. е. по числу килограмметровъ работы, доставляемой ежесекундно, причемъ технической единицей рабочей мощности служатъ или киловаттъ, т. е. мощность двигателя, который совершаетъ въ секунду 102 кг.-м. работы, или „паровая лошадь“, соотвѣтствующая работѣ 75 килограмметровъ въ секунду. Такимъ же образомъ можетъ быть сдѣлана оцѣнка рабочей мощности и другихъ источниковъ энергіи (см. § 466). Еслибы мы попробовали въ этомъ смыслѣ опредѣлить мощность энергіи какого-нибудь взрыва или удара, то конечно получили бы колоссальныя числа, такъ какъ все явленіе длится очень малую долю секунды.

Отъ той или иной быстроты преобразованія химической энергіи въ тепловую при сжиганіи топлива зависитъ достигаемая при горѣніи температура: она, при прочихъ равныхъ условіяхъ, тѣмъ выше, чѣмъ больше топлива сгораетъ въ единицу времени (см. § 405).

489. Дѣятельность нашего собственнаго организма также связана съ бо́льшею или меньшею быстротою превращенія его внутренней (химической) энергіи въ тѣ или иныя формы. При быстромъ бѣгѣ напр. мы въ каждую секунду расходуемъ гораздо больше энергіи на передвиженіе и производство теплоты, чѣмъ при обыкновенной ходьбѣ. Если человѣкъ вѣсомъ въ 5 пуд., сильно торопясь, взбѣгаетъ по лѣстницѣ на высоту 60 фут. (примѣрно высота пя-

таго этажа) въ теченіе 20 секундъ, то въ каждую секунду онъ совершаетъ, какъ легко разсчитать, 15 пудофутовъ работы, что соотвѣтствуетъ мощности 1 паровой лошади. При сильномъ напряженіи мышцъ (напр. въ виду угрожающей опасности или при нервныхъ припадкахъ) организмъ человѣка и животныхъ можетъ въ теченіе короткаго времени совершать работу съ быстротою во много разъ больше обычной; слѣдующій затѣмъ большой „упадокъ силъ"—явный признакъ того, что израсходованная энергія не успѣваетъ пополняться преобразованіемъ имѣющихся въ организмѣ запасовъ. „Сильнымъ" мы называемъ человѣка, который въ короткое время, безъ особеннаго утомленія, можетъ совершить работу значительно бо̀льшую, чѣмъ другіе.

Въ нашей повседневной жизни мы постоянно пользуемся быстрымъ расходованіемъ накопленной энергіи для производства дѣйствій, которыхъ мы не могли бы выполнить при постепенномъ расходованіи той же энергіи. Таково именно значеніе всякаго толчка, удара, „размаха" и пр.

Что такое вещество и энергія? „Энергія" и „сила".

490. Итакъ мы въ состояніи измѣрять энергію въ различныхъ случаяхъ ея прихода и расхода, какъ измѣряемъ длину, объемъ, вѣсъ и т. п.; мы можемъ быть увѣрены, что при правильныхъ пріемахъ измѣренія всегда найдемъ въ той или иной формѣ исчезнувшее, т. е. израсходованное на какое либо дѣйствіе количество энергіи. Любопытно было бы спросить, что же такое энергія сама по себѣ? Отвѣтъ на этотъ вопросъ можетъ быть только тотъ, что энергія есть нѣчто, обусловливающее собою всякія измѣненія въ природѣ, нѣчто количественно неизмѣнное и извѣстное намъ въ различныхъ видахъ или формахъ. Ничего бо̀льшаго мы здѣсь сказать не можемъ. Но въ сходномъ положеніи мы оказываемся и по отношенію къ вопросу: что такое вещество, изъ котораго состоятъ тѣла? Мы часто употребляемъ выраженія „вещество", „вещественный", считая ихъ понятными лишь по привычкѣ. Но если бы мы захотѣли дать себѣ ясный отчетъ въ томъ, что такое вещество, то встрѣтили бы большія трудности. Въ самомъ дѣлѣ, „вещество" есть и желѣзо, и вода, и водяной паръ. Но вмѣстѣ съ тѣмъ вещество не есть ни то, ни другое, ни третье, потому что каждое изъ названныхъ тѣлъ имѣетъ опредѣленные физическіе признаки отличающіе его отъ другихъ тѣлъ. Какіе физическіе признаки имѣетъ „вещество", взятое само по себѣ? Твердо оно, жидко или газообразно при обыкновенной температурѣ? Мы вѣроятно сразу почувствуемъ неумѣстность такихъ вопросовъ. Вещество есть нѣчто непроницаемое и неуничтожаемое, являющееся намъ въ чрезвычайно различныхъ видахъ или формахъ (тѣлахъ)—

вотъ почти все, что мы можемъ сказать здѣсь на поставленный нами вопросъ. Попытки идти дальше этого въ подобныхъ вопросахъ относятся больше къ области ученія о нашихъ познавательныхъ способностяхъ, нежели къ физикѣ.

491. Оставаясь въ области физики, очень важно замѣтить себѣ коренное различіе между понятіями „энергіи" и „силы". Въ обыденной рѣчи эти понятія считаются почти однозначущими, и надо сознаться, что провести сполна различіе между ними, не прибѣгая къ нѣкоторымъ незнакомымъ намъ терминамъ, очень трудно. Однако нижеслѣдующее можетъ нѣсколько содѣйствовать уясненію дѣла.

1) Энергія тѣла или совокупности тѣлъ выражается и измѣряется работой, которую они способны совершить (§ 474). Но „работу" никоимъ образомъ нельзя смѣшивать съ „силой". Когда одно тѣло давитъ на другое или тянетъ другое, хотя бы и не происходило движенія, мы говоримъ, что между тѣлами дѣйствуетъ „сила" (§ 121). Работа же состоитъ въ преодолѣваніи сопротивленій. Если тѣло своимъ давленіемъ или тягой не производитъ никакого перемѣщенія, то, какъ бы велика не была сила давленія или тяги, никакой работы не совершается. Грузъ, положенный на подставку, сперва—много или мало—вдавливаетъ или прогибаетъ ее, т. е. производитъ работу противъ упругости; но работа груза, лежащаго неподвижно, равняется нулю, хотя бы сила, дѣйствующая на подставку (тяжесть груза), была очень велика. Съ другой стороны, положимъ, что тѣло перемѣщается, не преодолѣвая никакихъ сопротивленій, т. е. не будучи подвержено дѣйствію силы, которая препятствовала бы движенію: тогда опять-таки никакой работы нѣтъ. Таково было бы напр. движеніе тѣла по инерціи при отсутствіи всякихъ сопротивленій извнѣ.

2) На поднятіе какого нибудь груза затрачивается тѣмъ больше работы, чѣмъ выше онъ поднятъ, и тѣмъ слѣдов. бо̀льшій запасъ энергіи пріобрѣтается грузомъ. Слѣдовательно, чѣмъ дальше грузъ отъ поверхности земли, тѣмъ больше его энергія, между тѣмъ какъ сила, дѣйствующая на грузъ, т. е. его вѣсъ, съ удаленіемъ отъ земной поверхности, напротивъ, становится даже меньше. Положимъ далѣе, что двѣ взаимно-притягивающихся массы (земля и луна, магнитъ и кусокъ желѣза) все дальше и дальше удаляются другъ отъ друга: „сила" ихъ взаимнаго притяженія все уменьшается, между тѣмъ какъ „энергія" ихъ все возрастаетъ, потому что увеличивается общая величина работы, которую тѣла могутъ совершить, сближаясь до соприкосновенія.

3) Наконецъ представимъ себѣ натянутую проволоку: въ каждомъ поперечномъ сѣченіи ея, между каждыми двумя сосѣдними ея частицами, мы воображаемъ себѣ нѣкоторыя натяженія, нѣкоторыя „силы". И все это безчисленное множе-

ство силъ исчезаетъ, какъ только проволока будетъ освобождена отъ тяги. Но энергія, или работа, которая была затрачена на растяженіе, не исчезаетъ безслѣдно, а преобразовывается въ теплоту, которая количественно какъ разъ возмѣщаетъ исчезнувшую энергію. Итакъ силы возникаютъ и исчезаютъ, безъ того, чтобы въ послѣднемъ случаѣ гдѣ либо возникали равныя имъ силы. Если иногда говорятъ: „законъ сохраненія силы“, — то лишь потому, что смѣшиваютъ понятія силы и энергіи.

Въ физическихъ знаніяхъ „энергія“ и „сила“ относятся къ вспомогательнымъ понятіямъ первостепенной важности, такъ какъ они много содѣйствуютъ изученію взаимной связи явленій. Изъ нихъ первое, понятіе объ энергіи,—безъ котораго нельзя нынѣ обойтись ни въ одной отрасли физическихъ наукъ, — довольно удовлетворительно уясняется тѣмъ, что было изложено въ этой главѣ. Понятіе же о силѣ гораздо труднѣе поддается сколько нибудь точному опредѣленію и требуетъ достаточныхъ свѣдѣній изъ науки о движеніи, механики.

Формы энергіи не исчерпываются тѣми, съ которыми мы познакомились въ предшествовавшихъ главахъ. Мы переходимъ теперь къ разсмотрѣнію явленій магнитизма и электричества, открывающихъ намъ существованіе еще и иныхъ видовъ энергіи въ природѣ.

---

470. Указать еще примѣры источниковъ энергіи, кромѣ здѣсь поименованныхъ.—**478**. Положимъ, что одно тѣло вѣситъ 20 кг. и движется со скоростью 1 м./сек., другое же *вѣситъ вдвое меньше*, но имѣетъ *вдвое большую скорость*. Одинакова ли ихъ кинетическая энергія, т. е. произведутъ ли тѣла при остановкѣ равную работу или нѣтъ? *Отв.* Кинетическая энергія перваго $= \frac{20.1^2}{20}$, или 1 кг.-м., второго $\frac{10.2^2}{20}$, или 2 кг.-м. Кинетическая энергія второго вдвое больше — потому именно, что энергія движенія пропорціональна не первой степени, а *квадрату* скорости. (По тому же самому кинетическая энергія сравнительно небольшого *артиллерійскаго снаряда* во много разъ больше, чѣмъ какой-нибудь стародавней *стѣнобитной машины*, не смотря на гораздо большую массу ударяющаго тѣла).—Сравнить кинетическую энергію паровоза, вѣсящаго 50000 кг. (около 3000 пуд.) и движущагося со скоростью 15 м./сек. (около 50 вер./час.), съ кинетической энергіей артиллерійскаго снаряда вѣсомъ въ 200 кг. (около 12 пуд.) и ударяющагося со скоростью 800 м./сек. *Отв.* $\frac{50000.15^2}{20}=562500$ кг.-м. и $\frac{200.800^2}{20} = 6400000$ кг.-м.—**478** и слѣд., до **482**. Когда мы отводимъ въ сторону натянутую струну, мы, совершая нѣкоторую работу, сообщаемъ струнѣ новый запасъ энергіи. Какъ мы назовемъ пріобрѣтенную теперь струною энергію? Прослѣдить послѣдовательныя взаимныя превращенія потенціальной и кинетической энергіи при колебаніяхъ струны (обратить вниманіе на сходство съ соотвѣтственными превращеніями энергіи при колебаніяхъ маятника). Въ какіе моменты та и другая имѣютъ наибольшую величину? Наименьшую? Такъ какъ струна мало по малу останавливается, то сообщенная ей энергія конечно расходуется: на какія именно дѣйствія? (Энергія сотрясеній воздуха и подставки въ концѣ концовъ вся превращается въ энергію частичнаго движенія, т. е. *въ теплоту*, которая разсѣевается въ окружающемъ пространствѣ).—Какія преобразованія энергіи происходятъ при бросаніи о полъ резиноваго мяча, начиная съ момента, когда ему сообщено движеніе (сообщена энергія) нашей рукою, до того, какъ онъ, отскочивъ, достигнетъ высшей точки своего поднятія? Указать и на участіе тепловой энергіи въ ряду превращеній, принявъ во вниманіе тепловыя явленія, происходящія при сжатіи и расширеніи воздуха (§§ 413 и 415). — Когда мы заводимъ часы, расходуя на это работу, — хотя бы и незначительную,—въ какой формѣ запасается энергія въ часовомъ механизмѣ? Какими видами энергіи проявляется расходованіе запаса при ходѣ часовъ? Нельзя-ли предполагать появленіе и тепловой энергіи, и гдѣ именно? (Если часы идутъ нѣсколько дней послѣ того, какъ они были заведены человѣкомъ, вскорѣ умершимъ, то въ теченіе этого времени цѣлымъ рядомъ движеній въ часахъ проявляется быть можетъ послѣдняя сознательная затрата энергіи покойнаго).—Принимая во вниманіе, что всѣ тѣла природы находятся въ движеніи, можно ли указать на тѣло, кинетическая энергія котораго была бы $= 0$? Говоря практически, въ условіяхъ нашего земного существованія, когда именно мы считаемъ кинетическую энергію тѣла за 0? (Мы имѣемъ здѣсь дѣло, какъ и во многихъ другихъ случаяхъ, съ нулемъ чисто условнымъ).—При какомъ положеніи тѣла относительно центра земли была бы исчерпана потенціальная энергія, обусловленная притяженіемъ между тѣломъ и землею? — **482**. *Механическій эквивалентъ теплоты* можетъ быть найденъ между прочимъ по описанному въ § 413 пріему (рис. 316), причемъ вмѣсто воды можно взять и другую жидкость, напр. ртуть. Пусть взято 20 кг. ртути, а грузъ вѣсилъ 17 кг.; послѣ того, какъ грузу было дано (медленно) опуститься 10 разъ подъ рядъ съ высоты 2,5 м., ртуть нагрѣлась на 1,5° Ц. Какое выходитъ отсюда числовое значеніе механическаго эквивалента 1 большой калоріи, если принять, что вся расходуемая грузомъ энергія превращалась въ теплоту именно при движеніи лопатокъ въ ртути? Теплоемкость ртути $^1/_{30}$. *Отв.* Работа груза при 10 спускахъ $= 17 \times 2,5 \times 10 = 425$ килограмметрамъ; общее количество

развившейся въ ртути теплоты = 20 × 1,5 × 1/30 = 1 б. калоріи. Итакъ механическій эквивалентъ выходитъ = 425 кг.-м. [1].—Механическій эквивалентъ теплоты можно еще найти *по величинѣ работы, совершаемой расширяющимся при нагрѣваніи воздухомъ*,—принявъ во вниманіе, что тогда для нагрѣванія воздуха расходуется больше теплоты, чѣмъ когда ему не даютъ расширяться (см. § 415). Если въ прямоугольномъ сосудѣ, дно котораго=1 кв. метру (см. выше рис. 324), заключенъ подъ поршнемъ *A* кубическій метръ воздуха, и воздухъ нагрѣваютъ на 1° Ц., то онъ, расширяясь, совершаетъ работу противъ атмосфернаго давленія (см. § 426). Опытъ показываетъ, что если не дать воздуху расширяться, то для нагрѣванія того же самаго объема его на 1° расходуется на 0,089 б. калоріи м е н ь ш е, чѣмъ при расширеніи. Найти отсюда механическій эквивалентъ теплоты. *Отв.* Въ § 426 уже было найдено, что работа поднятія поршня (противъ атмосфернаго давленія) при нагрѣваніи на 1° $= 10336 \times \frac{1}{273} = 37{,}84$ килограмметр.; на производство именно этой работы израсходовано 0,089 калоріи. Итакъ работа, эквивалентная одной б. калоріи, $= \frac{37{,}84}{0{,}089} = 425$ кг.-м.—Способъ вычисленія, какъ видно, предполагаетъ, что нисколько тепловой энергіи не тратится при расширеніи воздуха на внутреннюю работу—на преодолѣніе молекулярныхъ силъ; въ дѣйствительности въ газахъ она очень мала (гораздо меньше, чѣмъ въ твердыхъ и жидкихъ тѣлахъ) и, допуская, что весь избытокъ въ 0,089 кал. расходуется на внѣшнюю работу, дѣлаютъ лишь незначительную погрѣшность [2].—**487**. Рѣшить вопр. 3-й этого § въ предположеніи, что скорость свинцовой массы = 400 м./сек. (меньше скорости ружейной пули при ея вылетѣ) и показать, что и тогда вся масса можетъ быть расплавлена въ моментъ удара.—Положимъ, что земля, которая движется по своему пути вокругъ солнца со скоростью около *30 килом. въ секунду* (28 вер./сек.), *мгновенно останавилась-бы*. Каково было бы примѣрно повышеніе ея температуры, если бы средняя теплоемкость матерьяла земли была въ 5 разъ меньше теплоемкости воды? *Отв.* Повышеніе температуры будетъ одинаково для каждаго килограмма земной массы; поэтому вычислимъ кинетическую энергію тѣла въ 1 кг., движущагося со скоростью 30 км./сек., взявъ притомъ упрощенную формулу $\frac{pv^2}{20}$ (см. § 478). Эта энергія $= \frac{1.(30000)^2}{20} =$

[1] Таково именно среднее изъ подобныхъ опытовъ со ртутью—впрочемъ далеко не столь простыхъ—сдѣланныхъ впервые въ сороковыхъ годахъ прошлаго вѣка *Джоулемъ*. Выполненные по этому пріему опыты вообще относятся къ числу первыхъ измѣреній механическаго эквивалента теплоты.

[2] Описаннымъ здѣсь пріемомъ механическій эквивалентъ теплоты *впервые* былъ вычисленъ въ 1842 г. *Р. Майеромъ*, хотя, по недостатку точныхъ опытныхъ данныхъ, полученный имъ результатъ значительно уклонялся отъ дѣйствительности.

45000000 кг.-м., а эквивалентное ей количество теплоты $\frac{45000000}{428}$, или *слишкомъ 100000 калорій*. Итакъ температура земли повысилась бы болѣе, чѣмъ на 100000°, даже при теплоемкости = 1, и слѣдов. слишкомъ на *полмилліона градусовъ* (Ц.) въ предположеніи, что теплоемкость въ 5 разъ меньше. (Хотя результаты подобныхъ вычисленій можно считать лишь грубо приблизительными, тѣмъ не менѣе они указываютъ намъ на огромное развитіе теплоты и связанное съ нимъ измѣненіе состоянія при столкновеніи небесныхъ тѣлъ, возможность котораго, надо полагать, не исключена въ пространственныхъ безднахъ). — **488**. Предположивъ, что нѣкоторый двигатель расходуетъ 6400000 кг.-м. работы въ теченіе 24 часовъ, выразить *рабочую мощность* этого двигателя въ паровыхъ лошадяхъ. *Отв.* Работа въ секунду $= \frac{6400000}{86400} = 74$ килограмметрамъ, что соотвѣтствуетъ почти 1 паровой лошади.—Допустимъ, что артиллерійскому снаряду большого орудія сообщено 6000000 кг.-м. кинетической энергіи давленіемъ на него пороховыхъ газовъ, длившимся (въ каналѣ орудія) всего $\frac{1}{50}$ секунды. Какимъ числомъ паровыхъ лошадей выразится тогда *мощность работы* пороховыхъ газовъ? *Отв.* Еслибы работа пороховыхъ газовъ продлилась съ тою же мощностью цѣлую *секунду*, то она была бы въ 50 разъ больше, т. е. равнялась бы *300 милліонамъ* килограмметровъ; раздѣливъ это число на 75, получимъ *4 милліона* паровыхъ лошадей. [Время пребыванія снаряда въ каналѣ орудія можно приблизительно опредѣлить такъ. Пусть длина канала 8 метровъ, а скорость *вылета* снаряда 800 м./сек. *Предположимъ*, что скорость движенія снаряда внутри канала возрастаетъ *равномѣрно* отъ 0 до 800 м./сек. (это конечно не вполнѣ соотвѣтствуетъ дѣйствительности): тогда время, въ теченіе котораго снарядъ пройдетъ 8 м., будетъ такое же, какъ еслибы онъ двигался въ каналѣ со скоростью среднею между 0 и 800 м./сек., т. е. со скоростью 400 м./сек.; искомое время составитъ слѣдов. $\frac{1}{50}$ секунды].

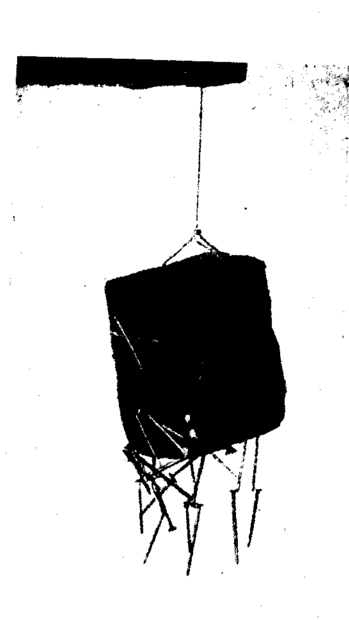
XXVIII.

О магнитныхъ явленіяхъ.

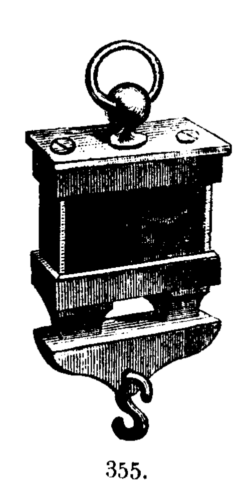
Стальные магниты; ихъ отношеніе къ желѣзу и другъ къ другу; магнитная полярность.

492. Въ природѣ мѣстами (напр. у насъ въ Уральскихъ горахъ) встрѣчается желѣзная руда, имѣющая хими-

ческій составъ желѣзной окалины (§§ 170, 178) и притягивающая желѣзо, напр. желѣзныя опилки, мелкіе гвозди, стальныя перья. Это такъ называемый магнитный камень или **магнитный желѣзнякъ** (рис. 354). Если кусокъ магнитнаго желѣзняка вдѣлать въ желѣзную оправу, то получается магнитъ болѣе сильный, который можетъ удерживать куски желѣза большей величины (рис. 355).



354.



355.

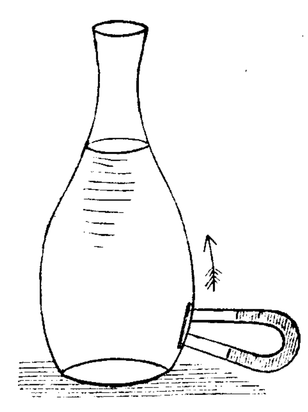
Магнитный желѣзнякъ или естественный магнитъ былъ извѣстенъ съ древнѣйшихъ временъ. Полагаютъ, что самое названіе магнита (по латыни magnes) произошло отъ древняго мало-азіатскаго города Магнезіи, около котораго находили магнитный камень.

Но есть и магниты, приготовляемые искусственно изъ стали (какъ именно—объ этомъ мы узнаемъ впослѣдствіи). Въ продажѣ можно найти стальные магниты обыкновенно или въ видѣ бруска (палочки), или подковообразные. Для нижеслѣдующихъ опытовъ болѣе пригодны именно такіе искусственные магниты—между прочимъ потому, что они, даже при меньшихъ размѣрахъ, сильнѣе естественнаго магнита.

Магнитъ притягиваетъ не только желѣзо, но и **сталь**, **чугунъ** (состоящіе, какъ извѣстно, изъ желѣза въ соединеніи съ малыми количествами угля), а также нѣкоторые другіе металлы, напр. **никкель**[1]; но желѣзо притягивается всего сильнѣе. Магнитное притяженіе замѣтно уже на нѣкоторомъ разстояніи. Это можно хорошо видѣть, если напр. положить кусокъ желѣза на пробку (или деревяшку), пустить ее на воду и держать неподалеку магнитъ.

Наоборотъ, если помѣстимъ магнитъ на поплавокъ и будемъ на нѣкоторомъ разстояніи держать кусокъ желѣза, то **магнитъ будетъ притягиваться къ желѣзу** точно такъ, какъ желѣзо къ магниту. Смыслъ, который слѣдуетъ придавать слову „притяженіе", былъ уже разъясненъ выше. Притяженіе между магнитомъ и желѣзомъ **взаимно**: магнитъ притягиваетъ желѣзо постольку, поскольку самъ притягивается желѣзомъ. Если мы говоримъ, что на желѣзо дѣйствуетъ со стороны магнита „притягательная сила", то съ такимъ же правомъ можемъ сказать, что и на магнитъ со стороны желѣза дѣйствуетъ точно такая же сила. (См. гл. VII и въ частности §§ 119, 121).

493. Когда мы наблюдаемъ взаимныя дѣйствія магнита и желѣза на разстояніи, то обыкновенно между ними находится воздухъ. Но магнитныя взаимодѣйствія обнаруживаются и въ томъ случаѣ, если магнитъ и желѣзо отдѣлены другъ отъ друга бумагой, деревомъ, стекломъ и многими другими тѣлами. Можно напр. заставить стальную иглу скользить по картону или доскѣ, перемѣщая подъ ними магнитъ. Тонкую иглу легко вынуть подковообразнымъ магнитомъ изъ склянки съ водою, приставивъ магнитъ сперва къ мѣсту, гдѣ лежитъ иголка (рис. 356), и двигая имъ по стеклу вверхъ до отверстія. Сильными магнитами извлекаютъ при операціяхъ изъ подъ кожи мелкіе желѣзные предметы. И т. п.

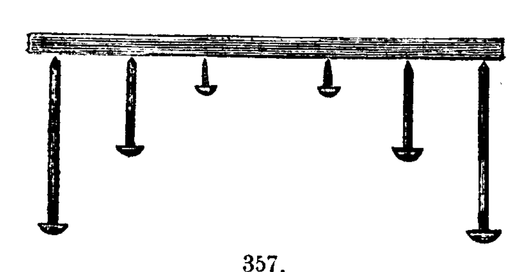


356.

[1] Блестящій серебряно-бѣлый нержавѣющій металлъ, употребляемый для покрыванія—никкелировки—мѣдныхъ и др. металлическихъ вещей.

Надо замѣтить, что промежуточныя тѣла (а равно и самый воздухъ) не относятся безразлично къ передачѣ магнитнаго дѣйствія, какъ могло бы показаться съ перваго взгляда: чрезъ одни тѣла оно передается лучше, чрезъ другія хуже.

494. Укрѣпивъ магнитный брусокъ горизонтально, станемъ подвѣшивать въ разныхъ мѣстахъ по его длинѣ куски желѣза (гвозди разной величины): мы найдемъ, что притяженіе всего сильнѣе близъ его концовъ, что оно убываетъ къ срединѣ, и что средина магнита не удерживаетъ даже самыхъ маленькихъ гвоздиковъ (рис. 357). Если магнитный брусокъ или намагниченную вязальную спицу погрузимъ въ желѣзныя опилки, то онѣ пристанутъ (кучками) главнымъ образомъ на концахъ; въ серединѣ же ихъ или совсѣмъ не будетъ, или останется очень мало (рис. 358 и ниже рис. 369); въ случаѣ подковообразнаго магнита желѣзныя опилки собираются плотною массою преимущественно между концами (рис. 358). Срединный поясъ магнита, гдѣ притяженія нѣтъ (или оно ничтожно мало), называется линіей безразличія.



357.

495. Обѣ половины магнита въ извѣстныхъ отношеніяхъ не одинаковы между собою. Помѣстимъ магнитъ такъ, чтобы онъ могъ свободно поворачиваться въ горизонтальной плоскости: для этого его или подвѣшиваютъ горизонтально на тонкой незакрученной нити (рис.



358.

359), или кладутъ на поплавокъ (кусокъ дерева или пробки, круглодонную чашку, блюдце, рис. 360), или наконецъ помѣщаютъ на шпенекъ съ помощью шляпки (рис. 361 — „магнитная стрѣлка“). Магнитъ, помѣщенный такимъ образомъ, послѣ нѣсколькихъ качаній, принимаетъ нѣкоторое опредѣленное направленіе, а именно устанавливается однимъ концомъ въ сторону сѣвера, другимъ—въ сторону юга. Если мы установимъ въ комнатѣ—не на очень близкихъ разстояніяхъ—нѣсколько такихъ подвижныхъ магнитовъ, то всѣ они, успокоившись, будутъ направлены параллельно другъ другу. Отмѣтивъ чѣмъ либо (напр. бумажкою) тотъ конецъ, который разъ установился къ сѣверу, мы найдемъ, что этотъ конецъ всегда установится къ сѣверу, какъ бы мы сперва не повернули магнитъ [1]. Вслѣдствіе этого концы магнита различаютъ названіями сѣвернаго (указывающаго на сѣверъ) и южнаго (указывающаго на югъ). Первый принято обозначать буквою N (*Nord*), второй S (*Süd*).

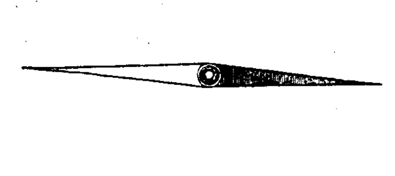
359. 360.

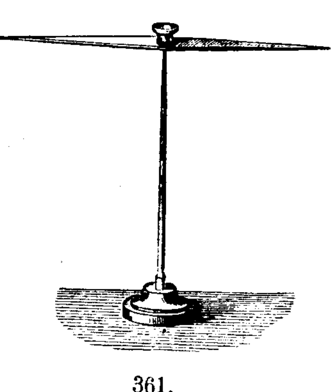
Часто говорятъ также, что магнитъ имѣетъ два полюса, сѣверный (N) и южный (S),—относя эти названія къ двумъ областямъ, положеніе которыхъ (близъ концовъ магнита) приблизительно соотвѣтствуетъ мѣстамъ наиболѣе сильнаго притяженія (см. пред. §). Если магнитная полоска—длинная и тонкая (какъ напр. намагниченная вязальная спица), то полюсами ея можно считать двѣ точки, лежащія неподалеку отъ концовъ. Болѣе точное опредѣленіе „полюсовъ“ здѣсь не можетъ быть дано.

Легкій заостренный къ концамъ магнитъ, имѣющій въ срединѣ шляпку, которою онъ горизонтально насаженъ на

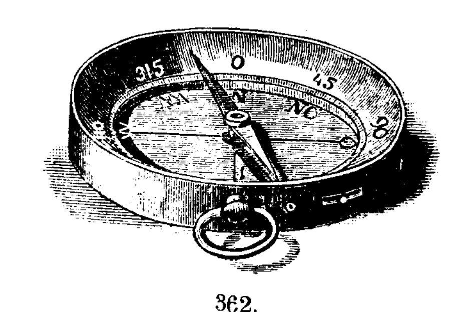
[1] Очень важно, чтобы по близости не было сколько нибудь значительныхъ желѣзныхъ массъ, которыя могли бы измѣнить положеніе подвижныхъ магнитовъ.

острый шпенекъ, носитъ названіе магнитной стрѣлки (рис. 361). Сѣверный конецъ магнитной стрѣлки обыкновенно дѣлается зачерненнымъ. Направленіе покоящейся магнитной стрѣлки не совпадаетъ (какъ обыкновенно думаютъ) съ полуденной или меридіанальной линіей, т. е. линіей, указывающей направленіе географическаго меридіана. Но у насъ (въ Европ. Россіи) оно, если не считать нѣкоторыхъ мѣстныхъ уклоненій, мало отличается отъ меридіанальнаго направленія, а потому сѣверный конецъ стрѣлки приблизительно указываетъ намъ и точку сѣвера на нашемъ горизонтѣ. Полюсы магнитной стрѣлки—двѣ точки, лежащія близь ея концовъ. Какъ извѣстно, магнитная





361.



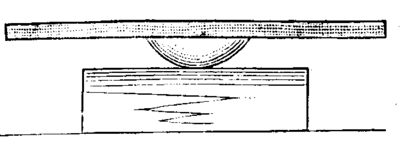
362.

стрѣлка есть главная составная часть компаса (рис. 362 и ниже рис. 374), прибора очень важнаго въ мореплаваніи и землемѣрномъ дѣлѣ.

Магнитная стрѣлка, какъ приборъ довольно чувствительный къ магнитнымъ дѣйствіямъ, даетъ намъ возможность обнаруживать слабыя магнитныя притяженія, напр. замѣтить магнитное дѣйствіе на значительномъ разстояніи отъ магнита, притомъ чрезъ различныя тѣла. Съ помощью магнитной стрѣлки мы легко отличимъ маленькій желѣзный или стальной предметъ среди другихъ, напр. желѣзную булавку между мѣдными.

496. Если будемъ подносить магнитъ къ магниту, то замѣтимъ либо притяженіе, либо отталкиваніе. Легко

убѣдиться, что разноименные концы магнитовъ притягиваются, а одноименные отталкиваются. Для опытовъ одинъ изъ магнитовъ устанавливаютъ подвижно (въ настоящемъ случаѣ достаточно положить его срединою на опрокинутую круглодонную чашку, на часовое стекло, рис. 363, или на колпачекъ спиртовой лампы) и приближаютъ къ его концамъ поочередно концы другого магнита. Подвижнымъ магнитомъ можетъ также служить магнитная стрѣлка или подвѣшенная горизонтально намагниченная вязальная спица.

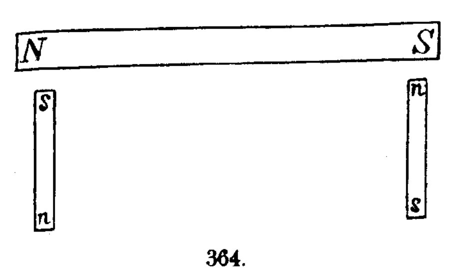


363.

Теперь съ помощью магнитной стрѣлки мы нетолько легко узнаемъ, намагниченъ ли какой-нибудь желѣзный предметъ, напр. гвоздь, вязальная спица, но и гдѣ находится сѣверный конецъ, гдѣ южный. Если, приближая гвоздь разными концами къ одному изъ полюсовъ магнитной стрѣлки, мы замѣчаемъ и притяженіе, и отталкиваніе, то гвоздь намагниченъ, и сѣверный полюсъ его—на томъ концѣ, отъ котораго отталкивается сѣверный конецъ магнитной стрѣлки. (Отчего нельзя по одному притяженію заключить, что гвоздь былъ намагниченъ?)

Испытаніе магнитной стрѣлкою обнаруживаетъ слабую „магнитную полярность“ (существованіе магнитныхъ полюсовъ) и въ нѣкоторыхъ другихъ минералахъ, кромѣ магнитнаго желѣзняка.

497. Кусокъ желѣза, находящійся вблизи магнита (даже не касаясь его), самъ становится магнитомъ, намагничивается. Если къ одному изъ концовъ магнита приблизимъ напр. желѣзный гвоздь, то на ближайшемъ къ полюсу концѣ гвоздя появится полюсъ разноименный съ полюсомъ магнита, а на противоположномъ — одноименный (рис. 364). Появленіе послѣдняго легко обнаружить съ помощью магнитной стрѣлки. Что же касается разноимен-

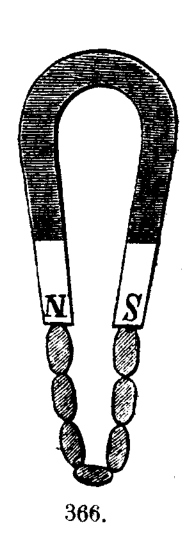


364.

наго, то близость къ полюсу магнита дѣлаетъ наблюденіе нѣсколько затруднительнымъ. Но для опыта можно воспользоваться тѣмъ, что въ продажныхъ сортахъ желѣза (между прочимъ и въ гвоздяхъ, особенно въ свѣтлыхъ проволочныхъ) слабое намагничиваніе остается и послѣ удаленія магнита.

Приставивъ къ полюсу магнита желѣзный гвоздь или ключъ, мы можемъ къ послѣднему подвѣсить другой, къ этому—третій и т. д.; при достаточно сильномъ магнитѣ удается составить цѣлую цѣпь (рис. 365). Если отнимемъ отъ магнита приставленный къ нему желѣзный предметъ, то онъ и всѣ остальные размагничиваются — цѣпь распадается. Впрочемъ этого можетъ и не быть, если первый гвоздь или ключъ удалить не сразу на значительное разстояніе, а держать *вблизи* конца магнита: дѣйствіе магнита на желѣзо, какъ сказано выше, происходитъ не только при соприкосновеніи, но и на разстояніи.—На рис. 366 изображена цѣпь изъ желѣзныхъ (жестяныхъ) пластинокъ, какъ она легко получается съ помощью подковообразнаго магнита. — Теперь мы поймемъ, почему желѣзныя опилки всегда собираются у концовъ магнита кучками или бородками: каждая желѣзная частичка при этомъ сама становится магнитомъ.

365.

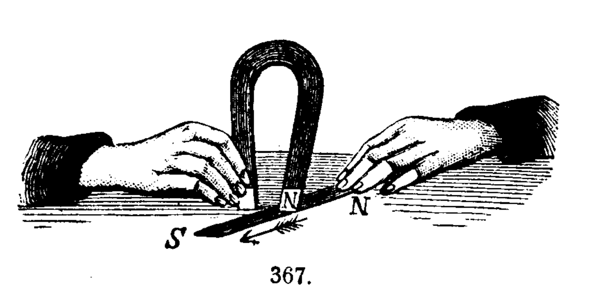


366.

498. Опытъ однако показываетъ, что различные продажные сорта *желѣза и стали* относятся къ намагничиванію не одинаково. Кусокъ *мягкаго* (хорошо отожженнаго) желѣза почти вполнѣ размагничивается, какъ только будетъ устранено дѣйствіе на него магнита. (Совершенно утрачиваетъ магнитную полярность только химически-чистое желѣзо, не встрѣчающееся въ практикѣ). Желѣзо болѣе твердаго сорта сохраняетъ въ себѣ болѣе замѣтный остатокъ намагниченія. *Закаленная сталь*, разъ будучи на-

магничена, остается въ этомъ состояніи, съ небольшими потерями, неопредѣленно долгое время [1]. Поэтому обыкновенные, т. наз. *постоянные* магниты дѣлаются изъ закаленной стали.

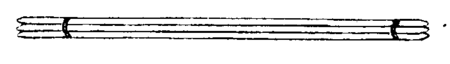
Весьма просто приготовить себѣ нѣсколько магнитовъ изъ тонкихъ стальныхъ полосокъ или *стальныхъ вязальныхъ спицъ*. Чтобы намагнитить спицу, достаточно, положивъ ее на столъ и придерживая рукою, пройтись по



367.

ней *отъ средины къ концамъ* отдѣльными концами магнита: по одной половинѣ сѣвернымъ, по другой южнымъ, и притомъ одинаковое число (15—20) разъ. Порядокъ возникновенія полюсовъ въ спицѣ будетъ соотвѣтствовать сказанному въ началѣ предыдущаго §. На рис. 367 показано, какъ слѣдуетъ держать подковообразный магнитъ, намагничивая имъ стальную полоску.

Съ нѣсколькими вязальными спицами, намагниченными указаннымъ способомъ, легко продѣлать всѣ простѣйшіе магнитные опыты. Если же съ десятокъ *тонкихъ* намагниченныхъ спицъ связать вмѣстѣ (мѣдной проволокой или крѣпкими нитками), обративъ ихъ *одноименными полюсами* въ *одну сторону* (рис. 368), то можно получить сравнительно сильный постоянный магнитъ.



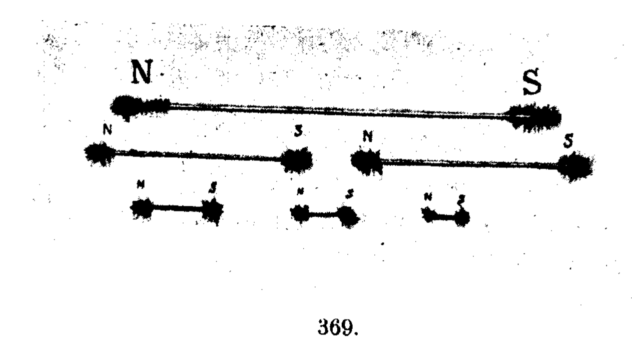
368.

Надо замѣтить, что при намагничиваніи желѣза и стали магнитомъ, послѣдній почти *не становится слабѣе*: магнитизмъ *не переходитъ* отъ магнита къ желѣзу (какъ

[1] Объ измѣненіи свойствъ стали при быстромъ и медленномъ охлажденіи см. § 129, а о различіи въ химическомъ составѣ продажнаго желѣза и стали—вторую выноску къ § 196.

передается напр. теплота отъ нагрѣтаго тѣла къ холодному), а какимъ-то образомъ возбуждается въ самомъ желѣзѣ дѣйствіемъ магнита. Такого рода явленіе характеризуютъ названіемъ **магнитной индукціи** или также намагничиванія „чрезъ вліяніе“.

499. Намагнитимъ тонкую вязальную спицу и **раздѣлимъ** ее (перерѣзавъ или переломивъ) на двѣ части по линіи безразличія: мы получимъ **два полныхъ магнита**—каждый будетъ имѣть два полюса и линію безразличія. Раздѣливъ пополамъ одинъ изъ этихъ магнитовъ, снова получимъ два полныхъ магнита. И т. д. Какъ бы малъ ни былъ отдѣленный отъ магнита отрѣзокъ, въ немъ всегда оказываются оба полюса: нельзя отдѣлить одинъ полюсъ отъ другого, т. е. получить однополюсный

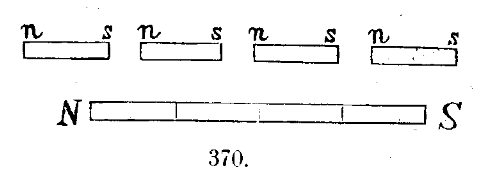


369.

магнитъ. Появленіе двухъ полюсовъ очень наглядно обнаруживается съ помощью желѣзныхъ опилокъ, которыя пристаютъ кучками только къ концамъ отрѣзковъ (рис. 369); а магнитная стрѣлка показала бы намъ, что одинъ изъ этихъ полюсовъ—сѣверный, другой—южный.

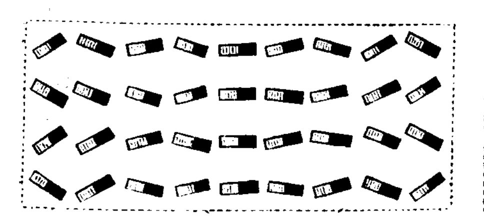
Это замѣчательное обстоятельство даетъ намъ возможность, такъ сказать, заглянуть во **внутреннее строеніе магнита** и намагниченнаго желѣза. Дѣля магнитъ пополамъ, потомъ на четыре части, на восемь, на шестнадцать и т. д., мы можемъ мысленно дойти до частичекъ неограниченно малыхъ, изъ которыхъ каждая тоже должна имѣть два разноименныхъ полюса. Но оказывается, что если сложить два (одинаково сильныхъ) магнита разноименными концами, то въ мѣстѣ соприкосновенія получается линія безразличія: приложенный сюда кусочекъ желѣза болѣе не удерживается. (Каковы должны быть дѣйствія каждаго изъ сложенныхъ концовъ на полюсы, возбуждаемые въ ближайшемъ концѣ поднесеннаго кусочка желѣза?). Если нѣсколько магнитовъ, сколь угодно малыхъ, сложить въ линейный рядъ, разноименными концами другъ къ другу, то можно получить какъ бы одинъ цѣльный

магнитъ—съ двумя полюсами и линіей безразличія (рис. 370). Слѣдовательно магнитъ можно представить себѣ сложеннымъ изъ отдѣльныхъ двуполюсныхъ магнитныхъ частичекъ. Назовемъ ихъ „элементарными магнитами“,—оставляя здѣсь въ сторонѣ вопросъ, тожественны ли эти частички съ молекулами, изъ которыхъ, по изложенной въ гл. XIII гипотезѣ, предполагаютъ состоящимъ всякое тѣло.

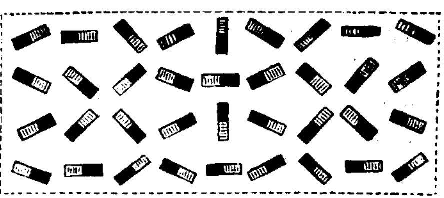


370.

Съ излагаемой нами точки зрѣнія стальной магнитъ состоитъ изъ рядовъ элементарныхъ магнитовъ, которые расположены параллельно (или приблизительно параллельно) другъ другу и обращены одноименными полюсами въ одну и ту же сторону (рис. 371). Въ брускѣ изъ ненамагниченной стали элементарные магниты направлены безъ всякаго порядка, полюсами во всѣ сто-



371.



372.

роны, отчего именно дѣйствіе ихъ ничѣмъ и не обнаруживается извнѣ (рис. 372). **Намагничиваніе** состоитъ въ томъ, что элементарные магниты поворачиваются и принимаютъ то болѣе или менѣе однообразное положеніе, какое они имѣютъ въ **магнитѣ**. Такъ повернулись бы при поднесеніи магнита нѣсколько маленькихъ магнитныхъ стрѣлокъ.—Желѣзный стержень также долженъ состоять изъ расположенныхъ безпорядочно элементарныхъ магнитовъ, которые при намагничиваніи стержня тоже принимаютъ однообразное расположеніе. Но въ желѣзѣ элементарные магниты надо предполагать болѣе подвижными, чѣмъ въ стали: желѣзо легче намагничивается, но и скорѣе теряетъ магнитное состояніе.

Слѣдующій опытъ очень наглядно показываетъ, какое значеніе можетъ имѣть то или иное расположеніе элементарныхъ магнитовъ для проявленія ихъ внѣшнихъ дѣйствій. Если наполненную желѣзными или стальными опилками стеклянную трубку натирать магнитомъ по правиламъ намагничиванія, то получается тѣло со всѣми свойствами слабаго магнита. Но если потомъ сильно встряхнуть трубку, то полярныя дѣйствія ея исчезаютъ.

Магнитныя свойства другихъ тѣлъ.

500. До сихъ поръ мы разсматривали дѣйствіе магнита лишь на желѣзо и на металлы, главнымъ образомъ состоящіе изъ желѣза. Но было уже упомянуто, что оно не ограничивается желѣзомъ, сталью и чугуномъ. Послѣ названныхъ металловъ всего сильнѣе намагничивается никкель; изъ этого металла можно даже сдѣлать магнитную стрѣлку. Нѣкоторые другіе металлы также притягиваются магнитомъ, но въ большинствѣ случаевъ несравненно слабѣе желѣза [1].

Чтобы усилить эти дѣйствія, пользуются не обыкновенными, а гораздо болѣе сильными магнитами иного происхожденія (такъ называемыми „электромагнитами“), желѣзный якорь которыхъ можетъ удерживать грузы въ нѣсколько пудовъ.

Многочисленные опыты, производившіеся съ очень сильными магнитами, показали даже, что всѣ тѣла, какъ твердыя и жидкія, такъ и газообразныя, въ слабой (хотя и весьма различной) степени подвергаются магнитному дѣйствію. Надо впрочемъ замѣтить, что оно проявляется въ большинствѣ случаевъ не притяженіемъ тѣлъ къ полюсамъ магнита, а отталкиваніемъ отъ нихъ.



373.

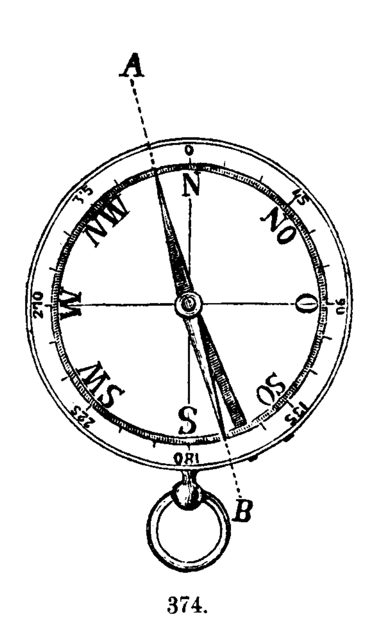
Для примѣра на рис. 373 представлено, какъ можетъ измѣниться форма пламени свѣчи между полюсами сильнаго магнита (электромагнита): отталкиваясь отъ магнита, пламя образуетъ рога въ плоскости, перпендикулярной къ прямой, соединяющей магнитные полюсы.

[1] Весьма замѣчателенъ сплавъ (въ опредѣленномъ вѣс. отношеніи) изъ металловъ марганца, мѣди, алюминія и свинца,—который по магнитнымъ свойствамъ мало уступаетъ желѣзу, тогда какъ каждый изъ металловъ въ отдѣльности не подверженъ сколько нибудь замѣтному дѣйствію обыкновенныхъ магнитовъ.

О магнитномъ дѣйствіи земли (земной магнитизмъ).

501. Магнитная стрѣлка устанавливается въ данномъ мѣстѣ земли по нѣкоторому опредѣленному направленію, которое конечно она принимаетъ не сама собою, а отъ какого либо магнитнаго дѣйствія извнѣ. Такъ какъ это явленіе повсемѣстно (если не считать нѣкоторыхъ исключительныхъ точекъ на земной поверхности) и не можетъ быть приписано дѣйствію какихъ либо находящихся по близости магнитныхъ тѣлъ, то причину его приходится искать въ магнитномъ дѣйствіи земли.

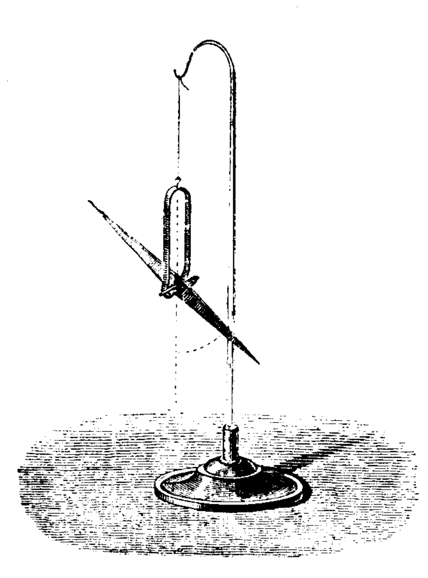
Наблюденіе показало, что направленіе магнитной стрѣлки въ разныхъ мѣстахъ земли болѣе или менѣе уклоняется отъ направленія географическаго меридіана и лишь въ сравнительно немногихъ мѣстахъ совпадаетъ съ нимъ. Уголъ, составленный направленіемъ магнитной стрѣлки съ географическимъ меридіаномъ даннаго мѣста, называется склоненіемъ магнитной стрѣлки; направленіе же магнитной стрѣлки указываетъ собою такъ называемый магнитный меридіанъ. Пусть напр. основаніе компаса (рис. 374) установлено такъ, что прямая NS совпадаетъ съ направленіемъ географическаго меридіана; если тогда сѣверный конецъ магнитной стрѣлки уклоняется на 12° къ западу, то мы въ данномъ мѣстѣ земли имѣемъ „западное склоненіе“ въ 12°, а магнитный меридіанъ имѣетъ направленіе AB. Наоборотъ, если уже извѣстенъ уголъ магнитнаго склоненія въ данномъ мѣстѣ земной поверхности, то по положенію магнитной стрѣлки можно будетъ найти направленіе географическаго меридіана. Если напр. въ какой-нибудь мѣстности, гдѣ мы находимся, магнитное склоненіе=10° къ востоку, то направленіе геогр. меридіана конечно будетъ лежать на 10°



374.

къ западу отъ направленія магнитной стрѣлки (считая опять по сѣверному ея концу). Такимъ образомъ правильное примѣненіе компаса (напр. въ мореплаваніи) требуетъ знанія угловъ магнитнаго склоненія въ разныхъ мѣстностяхъ земного шара. Эти углы даются въ особыхъ справочныхъ таблицахъ.

Далѣе оказывается, что если взять стрѣлку, которая могла бы свободно вращаться не только въ горизонтальной плоскости (какъ компасная), но и въ вертикальной, слѣдов. могла-бы наклоняться концами въ ту или другую сторону, то она установилась бы, вообще говоря, наклонно къ горизонту (рис. 375). Уголъ, составленный направленіемъ магнитной стрѣлки съ плоскостью горизонта даннаго мѣста, называется наклоненіемъ магнитной стрѣлки. (На рис. 375, ради ясности, отмѣченъ уголъ между направленіемъ стрѣлки и отвѣсной линіей — уголъ, дополняющій магнитное наклоненіе до 90°). Найдено, что чѣмъ дальше мѣстность къ сѣверу или къ югу отъ экватора, тѣмъ больше стрѣлка наклоняется къ горизонту: въ нашемъ полушаріи сѣвернымъ концомъ книзу, а въ южномъ—южнымъ; „наклоненіе" увеличивается вмѣстѣ съ геогр. широтою. Въ экваторіальныхъ мѣстностяхъ есть поясъ, въ которомъ стрѣлка держится горизонтально, т. е. гдѣ наклоненіе=0; этотъ поясъ, называемый магнитнымъ экваторомъ, не совпадаетъ съ географическимъ экваторомъ. Наконецъ въ сѣверномъ и въ южномъ полушаріяхъ есть мѣстности (которыя можно считать за точки на земной поверхности), гдѣ свободно поворачивающаяся магнитная стрѣлка устанавливается вертикально. Ихъ называютъ магнитными полюсами земного шара; они не совпадаютъ съ географическими полюсами.


375.

Нѣчто подобное можно наблюдать и съ магнитнымъ брускомъ, если положить его на столъ и перемѣщать надъ нимъ вдоль такую стрѣлку, какая изображена на рис. 375, или просто намагниченный кусочекъ вязальной спицы, подвѣшенный за средину на тонкой ниткѣ.

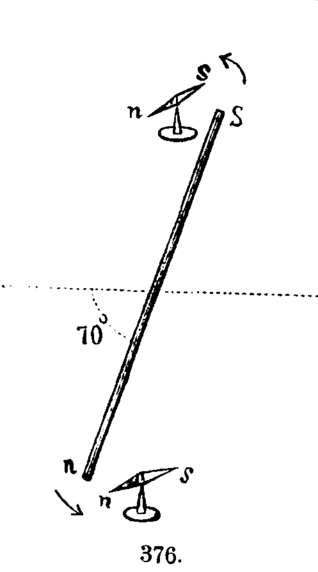
Магнитный полюсъ сѣвернаго полушарія земли лежитъ къ сѣверу отъ Гудзонова залива, на о-вѣ Мельвиль, подъ геогр. широтою около 70°, т. е. приблизительно въ разстояніи 2000 верстъ отъ сѣвернаго полюса земного шара. Положеніе же магнитнаго полюса южнаго полушарія не вполнѣ соотвѣтствуетъ продолженію прямой, проведенной отъ магнитнаго полюса сѣвернаго полушарія чрезъ центръ земли.

Понятно, что въ мѣстностяхъ, окружающихъ магнитные полюсы земли, уклоненія стрѣлки компаса отъ географическаго меридіана будутъ въ особенности значительны. Отмѣтивъ на картѣ сѣвернаго полушарія приблизительно положеніе магнитнаго полюса, мы увидимъ, что вокругъ него сѣверный конецъ компасной стрѣлки будетъ мѣстами указывать не только на западъ и востокъ, но даже и на югъ (если именно подходить къ магнитному полюсу съ сѣвера). Подобнымъ образомъ, если къ концамъ магнитнаго бруска, закрѣпленнаго въ штативѣ, подносить съ разныхъ сторонъ обыкновенную магнитную стрѣлку (рис. 361),—держа ее приблизительно на одной высотѣ съ концомъ магнита,—то она однимъ изъ своихъ полюсовъ постоянно будетъ указывать на полюсъ магнита.

502. Который изъ магнитныхъ полюсовъ, сѣверный или южный, находится въ нашемъ, т. е. сѣверномъ полушаріи? Такъ какъ мы условились называть „сѣвернымъ" тотъ конецъ магнитной стрѣлки (всякаго свободно поворачивающагося въ горизонтальной плоскости магнита), который указываетъ къ сѣверу, и такъ какъ притягиваются между собою разноименные полюсы, то ради послѣдовательности мы должны принять въ сѣверномъ полушаріи разноименный съ сѣвернымъ, т. е. южный магнитный полюсъ, а въ южномъ полушаріи—сѣверный. Но ничто конечно не мѣшало бы принять въ сѣверномъ полушаріи сѣверный же магнитный полюсъ, а въ южномъ — южный; тогда пришлось бы лишь переименовать соотвѣтственно по-

люсы магнитной стрѣлки и магнитовъ [1]. Хотя все дѣло въ условіи, тѣмъ не менѣе въ нѣкоторыхъ случаяхъ его очень важно не забывать для избѣжанія недоразумѣній. Такой случай представляется напр. при опытахъ намагничиванія желѣза магнитнымъ дѣйствіемъ земли.

Магнитнымъ дѣйствіемъ земли желѣзо (слабо) намагничивается. Чтобы обнаружить появленіе магнитныхъ полюсовъ въ желѣзномъ стержнѣ, держатъ его приблизительно въ направленіи магнитной силы въ данномъ мѣстѣ, т. е. въ вертикальной плоскости параллельной направленію магнитной стрѣлки (въ плоскости магнитнаго меридіана, § 501), наклонивъ къ горизонту подъ тѣмъ или инымъ угломъ (въ Петербургѣ около 70°, см. рис. 376). Такъ какъ, по принятому только что условію, въ сѣверномъ полушаріи земли находится южный магнитный полюсъ, то въ обращенномъ къ нему концѣ стержня (т. е. въ нижнемъ) мы должны ожидать появленія разноименнаго съ нимъ полюса—сѣвернаго. Дѣйствительно, поднесенный къ нему сѣверный конецъ магнитной стрѣлки замѣтно отталкивается; отъ противоположнаго (верхняго) конца стержня, напротивъ, будетъ отталкиваться южный полюсъ стрѣлки. Перевернувъ стержень концами, найдемъ опять въ нижнемъ его концѣ сѣверный полюсъ, а въ верхнемъ — южный. Если же помѣстимъ стержень перпендикулярно къ плоскости магнитнаго меридіана, то полярность концовъ исчезнетъ: оба полюса магнитной стрѣлки будутъ ими притягиваться.—Надо замѣтить, что намагничиваніе, перемагничиваніе (при поворачиваніи концами) и размагничиваніе хорошо удается лишь со стержнями изъ мягкаго (тщательно отожженнаго) желѣза.



376.

[1] Это иногда и дѣлается. Такъ въ продажѣ можно иногда встрѣтить подковообразные магниты (вѣроятно французскаго производства), въ которыхъ буквою N помѣченъ конецъ, принимаемый у насъ обычно за южный.

Легкое постукиваніе (деревяшкой) по концу стержня замѣтно содѣйствуетъ какъ возбужденію магнитныхъ полюсовъ, такъ и ихъ исчезновенію (когда именно стержень расположенъ перпендикулярно плоскости магнитнаго меридіана): это вѣроятно объясняется тѣмъ, что сотрясеніе дѣлаетъ элементарные магниты желѣза (§ 499) временно болѣе подвижными. Твердые сорта желѣза труднѣе намагничиваются (т. е. должны дольше находиться подъ дѣйствіемъ магнитной силы земного поля), но упорнѣе сохраняютъ слабые остатки намагничиванія.

Желѣзныя вещи почти всегда бываютъ слабо намагничены дѣйствіемъ земли. Производя описанные выше опыты, конечно сперва слѣдуетъ удостовѣриться, что желѣзный стержень не содержитъ постояннаго остаточнаго намагниченія, т. е. изслѣдовать его концы магнитной стрѣлкою, держа стержень перпендикулярно плоскости магнитнаго меридіана (и содѣйствуя легкимъ постукиваніемъ исчезновенію временнаго намагничиванія).

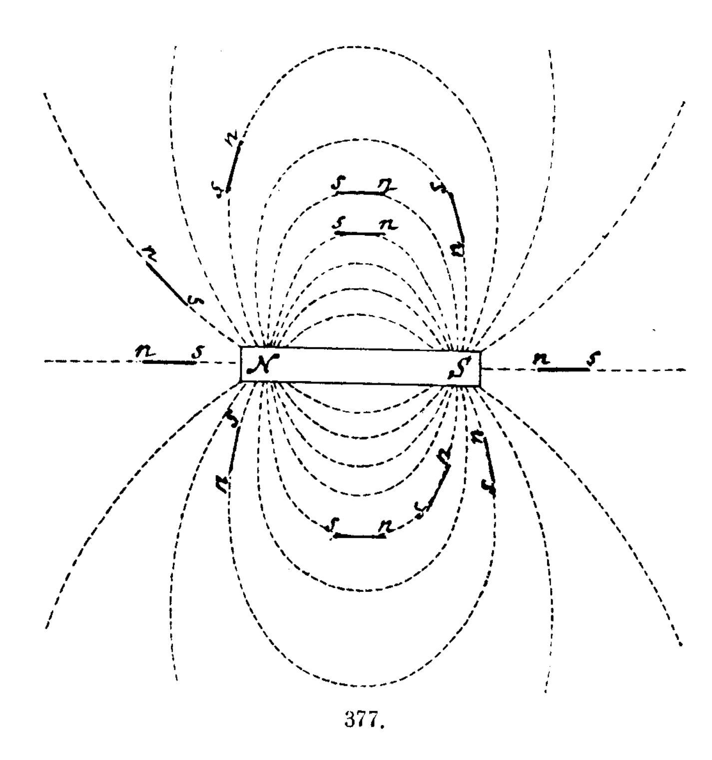
Магнитное поле.

503. Мы знаемъ, что магнитныя дѣйствія распространяются отъ магнита на нѣкоторое разстояніе. О силѣ притяженія на разныхъ разстояніяхъ отъ полюса магнита можно судить напр. по сравнительной быстротѣ качанія магнитной стрѣлки, подверженной дѣйствію этого полюса,—подобно тому, какъ по числу колебаній маятника въ теченіе даннаго времени можно сдѣлать заключеніе о неодинаковости силы тяжести въ разныхъ мѣстахъ земли (§§ 109 и 110). Давъ магнитной стрѣлкѣ легкій толчекъ и поднося къ ней все ближе одинъ изъ концовъ магнита, мы увидимъ, что качанія стрѣлки будутъ становиться все болѣе частыми. Легко удостовѣриться, что магнитное дѣйствіе быстро ослабляется съ увеличеніемъ разстоянія. Поэтому на сколько-нибудь значительномъ разстояніи отъ магнита оно уже мало замѣтно. Но чѣмъ чувствительнѣе приборъ, служащій для обнаруженія магнитнаго дѣйствія, тѣмъ больше будетъ разстояніе, на которомъ дѣйствіе еще можно замѣтить. Слѣдовательно, строго говоря, этому дѣйствію нельзя указать какихъ-либо опредѣленныхъ границъ. Все то пространство, въ предѣлахъ котораго дѣйствіе магнита еще можетъ быть замѣчено, называется „полемъ“ магнита, магнитнымъ полемъ.

Выше было уже упомянуто, что магнитное дѣйствіе не одинаково передается чрезъ разныя тѣла; слѣдовательно промежуточныя тѣла принимаютъ въ передачѣ какое-то участіе. Но опытъ показываетъ, что дѣйствіе передается и черезъ такъ называемую „пустоту“. Поэтому настоящимъ передатчикомъ магнитнаго дѣйствія на разстояніи считается проникающій всѣ тѣла эфиръ—

та-самая среда, о роли которой въ распространеніи лучистой энергіи было въ разныхъ мѣстахъ говорено выше (§§ 265, 385, 392, 459, 486).

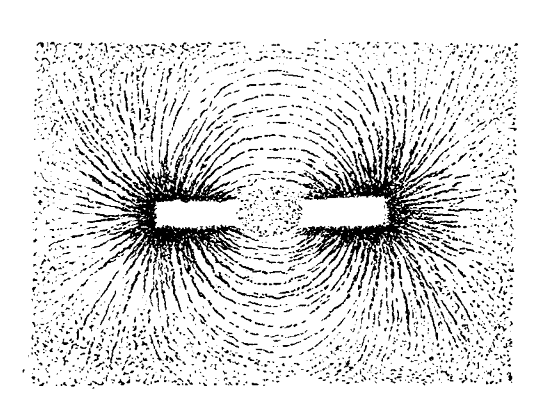
Магнитная стрѣлка принимаетъ различныя направленія въ разныхъ мѣстахъ магнитнаго поля. Но обыкновенная магнитная стрѣлка (какая употребляется въ компасѣ, см. выше рис. 361 и 362) не можетъ дать намъ настоящаго указанія относительно того, по какому направленію дѣйствуетъ магнитная сила въ данномъ мѣстѣ поля, потому что самый способъ установки компасной стрѣлки (на вертикальномъ шпенькѣ) позволяетъ ей свободно поворачиваться только въ горизонтальной плоскости. Если же взять магнитикъ, который могъ бы поворачиваться безразлично во всѣ стороны, то онъ будетъ устанавливаться по направленію магнитной силы, дѣйствующей въ данномъ мѣстѣ поля, и слѣдовательно укажетъ намъ ея направленіе. Это приблизительно можно осуществить, взявъ напр. намагниченный кусочекъ



377.

вязальной спицы, подвѣшенный за средину къ тонкой ниткѣ. На рис. 377 показаны направленія, которыя принимаетъ такая магнитная стрѣлка въ нѣсколькихъ мѣстахъ поля, окружающаго магнитный брусокъ. (Рисунокъ соотвѣтствовалъ бы и разнымъ положеніямъ обыкновенной магнитной стрѣлки въ полѣ магнитнаго бруска, если представить себѣ стрѣлку въ горизонтальной плоскости, проведенной чрезъ лежащій на столѣ магнитный брусокъ). Кривыя линіи, проведенныя касательно къ этимъ направленіямъ, покажутъ намъ въ общихъ чертахъ направленія, по которымъ дѣйствуютъ магнитныя силы въ разныхъ частяхъ поля.

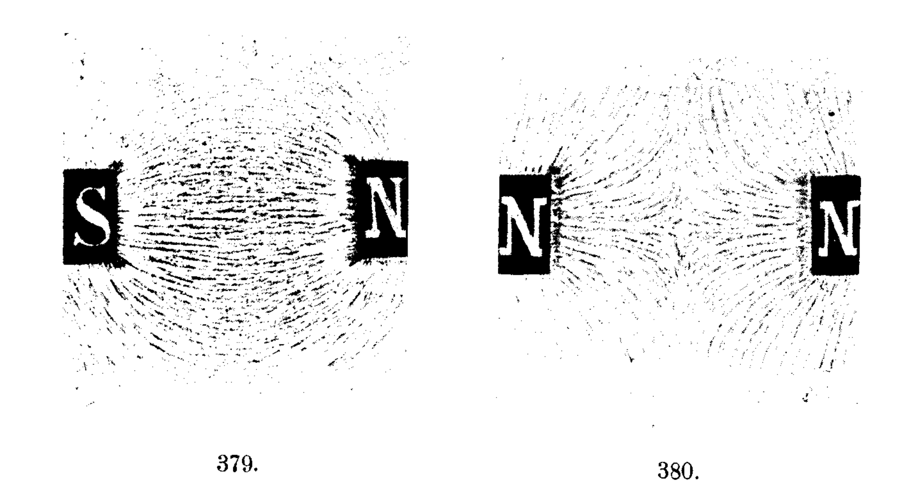
504. Вотъ пріемъ, дающій болѣе наглядную картину того, какъ направлены силы въ полѣ магнита. Покроемъ магнитный брусокъ листомъ бумаги и, слегка посыпавъ бумагу желѣзными опилками, будемъ осторожно постукивать по бумагѣ пальцемъ, тѣмъ самымъ встряхивая опилки: мы увидимъ, что опилки скоро расположатся въ ряды кривыхъ линій, которыя какъ бы сходятся къ полюсамъ (рис. 378). Такъ какъ при этомъ каждая желѣзная частичка временно становится магнитомъ и располагается по направленію магнитной силы, то получаемыя нами кривыя указываютъ собою направленія, по которымъ въ разныхъ мѣстахъ магнитнаго поля — въ плоскости бумаги — дѣйствуютъ магнитныя силы. (Легкое встряхиваніе, ослабляя треніе опилокъ о бумагу, дѣлаетъ ихъ болѣе подвижными). — Подобныя же дѣйствія распространяются отъ магнита конечно не только въ плоскости бумаги, но и во всякой другой плоскости, проходящей чрезъ оба полюса магнита. Объ этомъ можно напр. судить по положеніямъ, принимаемымъ въ различныхъ мѣстахъ поля маленькой магнитной стрѣлкой, подвижной во всѣ стороны (какъ было упомянуто раньше). Еслибы мы могли опытъ съ желѣзными опилками сдѣлать съ бумагою, помѣщенною отвѣсно или въ любомъ иномъ положеніи (но такъ однако, чтобы магнитные полюсы приходились въ плоскости бумаги), то мы получили бы кривыя подобныя изображеннымъ на рис. 378 (сравн. также рис. 377). Слѣдуетъ именно замѣтить себѣ, что со словомъ „поле“ соединяется здѣсь представленіе нѣкотораго пространства, окружающаго магнитъ со всѣхъ сторонъ, а не въ одной лишь горизонтальной плоскости, какъ могло бы пожалуй показаться изъ опыта съ желѣзными опилками на бумагѣ.



378.

Рис. 379 даетъ понятіе о расположеніи, которое желѣзныя опилки принимаютъ при подобныхъ опытахъ въ промежуткѣ между концами двухъ магнитовъ, обращенныхъ разноименными полюсами другъ къ другу; оно въ общемъ подобно предыдущему. Въ случаѣ двухъ магнитовъ, обращенныхъ другъ къ другу одноимен-

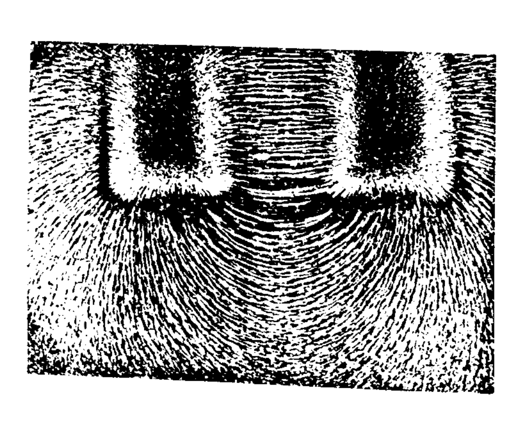
ными полюсами, желѣзныя опилки располагаются, какъ показываетъ рис. 380. Здѣсь ряды кривыхъ линій отъ каждаго изъ полюсовъ какъ бы сливаются въ два потока, направленныхъ попе-



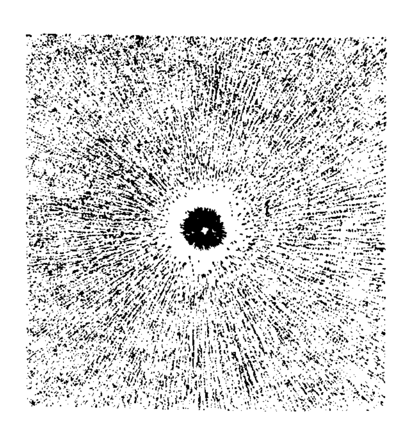
379.

380.

рекъ прямой, соединяющей полюсы. Между концами подковообразнаго магнита получается картина, представленная на рис. 381. Еслибы мы могли сдѣлать опытъ съ одним ъ какимъ либо изъ



381.



382.

магнитныхъ полюсовъ (для чего пришлось бы взять длинный тонкій магнитъ съ достаточно удаленными другъ отъ друга концами), то нашли бы, что желѣзныя опилки располагаются во всѣ стороны отъ полюса по прямымъ линіямъ, т. е. лучеобразно (рис. 382).

505. Что представляютъ изъ себя линіи, обрисовываемыя желѣзными опилками въ описанныхъ выше опытахъ? На этотъ вопросъ физика отвѣчаетъ пока лишь гадательно. Полагаютъ, что это линіи, вдоль которыхъ происходятъ какія-то измѣненія въ окружающей магнитъ эфирной средѣ. Измѣненія эти можно до нѣкоторой степени сравнить съ натяженіями, существующими въ тѣлѣ, форма и объемъ котораго были насильственно измѣнены. Съ помощью желѣзныхъ опилокъ мы обнаруживаемъ видимымъ для насъ образомъ слѣды этихъ натяженій, вродѣ того напр., какъ слѣды нѣкоторыхъ колебательныхъ движеній въ томъ же эфирѣ (слѣды „свѣтовыхъ лучей“) становятся, хотя и по инымъ причинамъ, доступными для нашего глаза благодаря носящимся въ воздухѣ пылинкамъ. Еслибы вокругъ магнита были взвѣшены въ воздухѣ мелкія желѣзныя частички, то мы прямо могли бы видѣть (при достаточно сильномъ освѣщеніи) пространственную картину магнитнаго поля.

Линіи, о которыхъ здѣсь идетъ рѣчь, называются силовыми линіями магнитнаго поля. Притяженіе и отталкиваніе концовъ двухъ магнитовъ, съ разсматриваемой точки зрѣнія, сводятся къ дѣйствію поля одного магнита на поле другого, причемъ упомянутыя выше натяженія эфира въ одномъ случаѣ сближаютъ концы магнитовъ, въ другомъ — удаляютъ ихъ другъ отъ друга. Ниже мы еще встрѣтимся съ замѣчательными явленіями, дающими намъ возможность почти что осязать натяженія, существующія въ сильномъ магнитномъ полѣ.

Надо еще замѣтить, что поле магнитнаго бруска или подковообразнаго магнита является только однимъ изъ многихъ примѣровъ „магнитнаго поля“, представляющаго вообще большое разнообразіе въ свойствахъ. Какъ увидимъ ниже, магнитное поле можетъ возникать и помимо постоянныхъ магнитовъ (искусственныхъ стальныхъ магнитовъ или магнитнаго желѣзняка). Примѣромъ можетъ служить здѣсь магнитное поле земли.

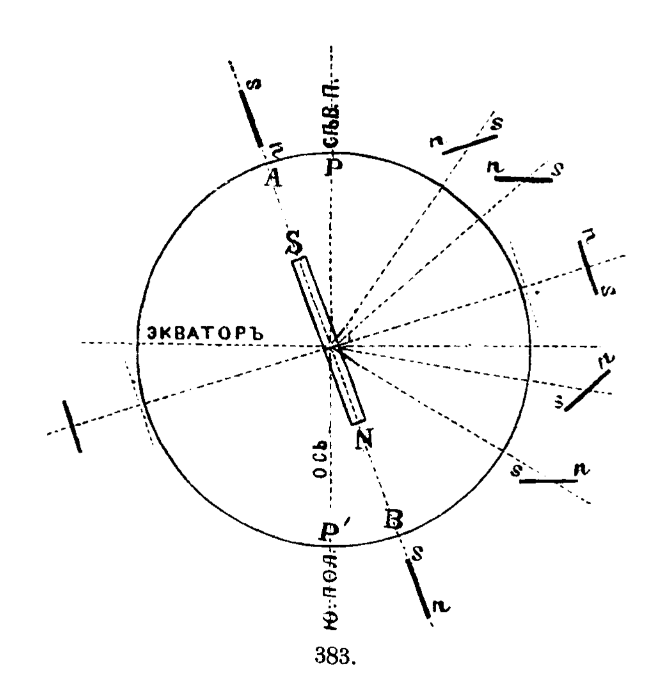
О магнитномъ полѣ земли.

506. Какова бы ни была причина магнитныхъ дѣйствій земли (здѣсь не мѣсто вдаваться въ сложныя догадки по этому предмету), важно прежде всего составить себѣ общее понятіе о распредѣленіи магнитныхъ дѣйствій на земной поверхности; съ практической стороны это можетъ быть пригодно для правильной оцѣнки показаній компаса, назначеніе котораго—опредѣлять направленіе географическаго меридіана и главныхъ точекъ горизонта по установкѣ магнитной стрѣлки.

Магнитизмъ земли производитъ на магнитную стрѣлку нѣкоторое „направляющее дѣйствіе“, подобное дѣйствію на нее магнита (см. § 503). Представимъ себѣ, что мы опредѣлили направленія, по которымъ подвижная въ горизонтальной и вертикаль-

ной плоскостяхъ магнитная стрѣлка (рис. 375) устанавливается въ разныхъ мѣстахъ земной поверхности. Тогда мы составимъ себѣ нѣкоторое понятіе о направленіи магнитныхъ силъ въ магнитномъ полѣ земли.

Можно задать себѣ вопросъ: еслибы внутри земли дѣйствительно находился магнитъ, то какъ надо представить себѣ его расположеннымъ напр. относительно земной оси, чтобы онъ производилъ на земной поверхности такія же или сходныя дѣйствія на магнитную стрѣлку, какія наблюдаются на самомъ дѣлѣ? Очень сложныя изслѣдованія привели къ выводу, что дѣйствія эти приблизительно таковы, какъ еслибы внутри земли, въ ея срединѣ, помѣщался небольшой (сравнительно съ размѣрами земли) магнитъ, наклоненный къ земной оси подъ угломъ около 15°. Въ самомъ дѣлѣ, если помѣстить достаточно сильный



383.

магнитъ въ серединѣ глобуса такъ, чтобы онъ былъ наклоненъ къ оси вращенія глобуса на 15° (рис. 383), то направленія магнитныхъ силъ на его поверхности будутъ въ общихъ чертахъ тѣ же, что и на землѣ. Подвижная во всѣ стороны маленькая магнитная стрѣлка (напр. подвѣшенный за средину намагниченный кусочекъ вязальной спицы) надъ точками A и B установится по направленію радіуса глобуса (что соотвѣтствовало бы на земномъ шарѣ отвѣсному направленію); на окружности круга, наклоненнаго къ экватору подъ угломъ около 15°, она станетъ перпендикулярно къ радіусу (т. е. на поверхности земли—горизонтально); въ про-

межуточныхъ же мѣстахъ она образуетъ тѣмъ бóльшій уголъ съ касательной къ глобусу плоскостью (т. е. на земной поверхности—съ плоскостью горизонта), чѣмъ мѣсто ближе къ одной изъ точекъ A, B. Меридіанъ $APBA$, въ плоскости котораго находится помѣщенный внутри глобуса магнитъ, опредѣляетъ собою тѣ пункты на глобусѣ, въ которыхъ стрѣлка компаса указала бы прямо на точки сѣвера и юга (т. е. гдѣ склоненіе=0). Точки A и B поверхности глобуса, соотвѣтствующія концамъ магнита, были бы „магнитными полюсами“ глобуса.

Въ дѣйствительности распредѣленіе магнитныхъ дѣйствій на земной поверхности менѣе правильно и кромѣ того измѣняется со временемъ.

507. Познакомившись съ нѣкоторыми явленіями, характеризующими магнитное поле земли, приведемъ теперь нѣсколько подробностей о направленіи магнитной силы поля въ разныхъ мѣстахъ земной поверхности. Направленіе это, какъ уже было объяснено выше, прямо указывается магнитной стрѣлкой, если она укрѣплена такъ, что можетъ свободно поворачиваться и въ вертикальной, и въ горизонтальной плоскостяхъ. Уголъ, составленный стрѣлкой съ плоскостью географическаго меридіана даннаго мѣста, называется магнитнымъ склоненіемъ, а съ плоскостью горизонта—наклоненіемъ. Смотря по тому, въ какую сторону отъ географическаго меридіана уклоняется магнитная стрѣлка, къ востоку или западу, склоненіе называется восточнымъ или западнымъ.

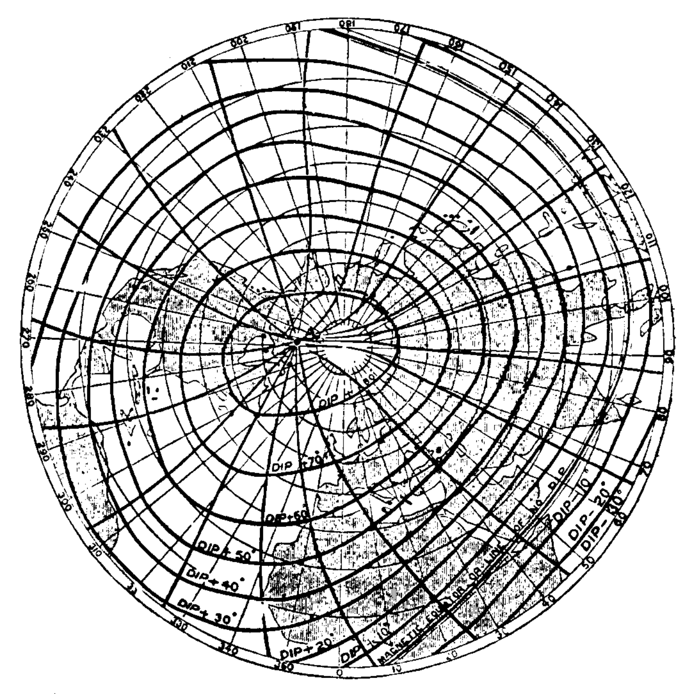
Магнитное склоненіе вообще весьма различно въ разныхъ мѣстахъ земли. Линія, проведенная чрезъ мѣстности, гдѣ въ настоящее время (1909 г.) магнитное склоненіе=0, т. е. гдѣ направленіе магнитной стрѣлки не уклоняется отъ географическаго меридіана, опоясываетъ землю, проходя въ Европейской Россіи западнѣе Петербурга, чрезъ Нарву на Керчъ [1]. Въ мѣстахъ, лежащихъ восточнѣе этой линіи, стрѣлка компаса уклоняется къ востоку (въ Европ. Россіи вообще на нѣсколько градусовъ), а западнѣе—къ западу. Восточное склоненіе въ Петербургѣ около 1°; западное въ Берлинѣ около 9°, въ Парижѣ около 14°. Есть мѣстности, гдѣ стрѣлка компаса уклоняется отъ географическаго меридіана еще на значительно бóльшіе углы (напр. въ 1900 г. западное склоненіе на о. Св. Елены было 25°, а въ Капштадтѣ около $29^1/_2$°).

Магнитное наклоненіе въ Петербургѣ около 70°, въ Москвѣ градуса на 2 меньше, а въ Тифлисѣ, одномъ изъ самыхъ южныхъ русскихъ городовъ, уже значительно меньше, именно около 55°. Линія, соединяющая мѣста, въ которыхъ наклоненіе=0, т. е. гдѣ подвижная во всѣ стороны стрѣлка установилась бы го-

[1] По справкѣ, сдѣланной въ Николаевской главной физической обсерваторіи.

ризонтально, проходитъ по близости экватора, частью къ сѣверу отъ него, частью къ югу; она, какъ уже было упомянуто выше, называется магнитнымъ экваторомъ.

На рис. 384 представлены въ общихъ чертахъ для сѣвернаго полушарія направленія магнитныхъ меридіановъ въ разныхъ точкахъ земной поверхности и линій, проведенныхъ чрезъ



384.

точки, въ которыхъ магнитная стрѣлка одинаково наклонена къ горизонту; тройнымъ штрихомъ изображенъ магнитный экваторъ, гдѣ наклоненіе стрѣлки=0. Точка *A* отвѣчаетъ магнитному полюсу сѣвернаго полушарія [1].

Чтобы составить себѣ болѣе вѣрное понятіе о распредѣленіи магнитныхъ дѣйствій на земной поверхности, надо еще замѣтить, что въ нѣкоторыхъ мѣстностяхъ показанія магнитной стрѣлки (склоненіе и наклоненіе) рѣзко отличаются отъ того, которое соотвѣтствовало бы данной выше общей картинѣ. Весьма замѣчательны въ этомъ отношеніи напр. у насъ нѣкоторыя мѣстности въ курской губерніи.

[1] На рисункѣ (взятомъ изъ англійскаго руководства) показаны въ градусахъ приблиз. величины угловъ магнитнаго наклоненія („dip"); числа съ минусами (—) соотвѣтствуютъ мѣстамъ, гдѣ наклоняется южный полюсъ стрѣлки. Геогр. долготы считаются отъ Гринвича.

508. Общая картина распредѣленія магнитныхъ силъ на земной поверхности измѣняется во времени: изо дня въ день, изъ года въ годъ, изъ вѣка въ вѣкъ. Вѣковыя измѣненія мало-по-малу приводятъ къ тому, что склоненіе и наклоненіе магнитной стрѣлки въ данной мѣстности становятся совсѣмъ иными. Особенно значительны измѣненія въ склоненіи. Такъ напр. въ Парижѣ магнитная стрѣлка въ 1580 г. уклонялась къ востоку отъ географическаго меридіана на $11^1/_2{}^0$; склоненіе уменьшалось и въ семидесятыхъ годахъ слѣдующаго (XVII-го) столѣтія прошло чрезъ нуль, сдѣлавшись западнымъ; наибольшей величины въ $22^1/_2{}^\circ$ западное склоненіе достигло въ 1814 г.; съ тѣхъ поръ оно уменьшается и въ настоящее время составляетъ около 14°. Такимъ образомъ общее наблюденное въ Парижѣ измѣненіе склоненія составляетъ 34°, т. е. болѣе трети прямого угла [1]. Какъ видно изъ приведеннаго примѣра, въ этомъ измѣненіи замѣчается періодичность; она установлена и для измѣненій магнитныхъ дѣйствій на земномъ шарѣ вообще. Вѣковыя измѣненія таковы, какъ будто магнитные полюсы земли обращались вокругъ географическихъ въ промежутокъ времени (предположительно) около 400 лѣтъ.

Мелкія измѣненія магнитныхъ дѣйствій, также періодическаго характера, находятся въ явной зависимости отъ времени дня и времени года.

Но кромѣ всѣхъ этихъ болѣе или менѣе постепенныхъ или правильныхъ измѣненій, часто наблюдаются еще какія-то внезапныя нарушенія въ обычномъ ходѣ магнитныхъ явленій на земной поверхности. Болѣе значительныя изъ нихъ получили въ наукѣ названіе магнитныхъ бурь—выраженіе, которое надо понимать лишь какъ быстрое, изъ ряду вонъ выходящее, измѣненіе показаній тѣхъ чувствительныхъ магнитныхъ приборовъ, для которыхъ отклоненіе стрѣлки на 1° составляетъ уже очень большую величину. Съ атмосферными бурями они не имѣютъ ничего общаго. Исключительная по силѣ магнитная буря наблюдалась осенью 1903 г. (съ вечера 31 октября до 4 час. утра слѣдующаго дня), когда колебанія стрѣлки въ склоненіи, отмѣченныя въ магнитной обсерваторіи г. Павловска близъ Петербурга, достигали почти 5° (4° 50′): такая величина ни разу не наблюдалась въ обсерваторіи за всѣ 25 лѣтъ съ ея основанія. (Въ Потсдамѣ около Берлина тогда же отмѣчены были колебанія до 3°). Вообще же колебанія стрѣлки въ склоненіи при магнитныхъ буряхъ у насъ рѣдко достигаютъ $^1/_2{}^\circ$.

Все это вмѣстѣ взятое показываетъ, какое запутанное явленіе представляетъ изъ себя такъ называемый „земной магнитизмъ", и какъ далеко

[1] Въ Петербургѣ въ 1880 г. склоненіе было $1^1/_2{}^\circ$ къ западу, въ 1892 г. оно прошло чрезъ 0°, а въ настоящее время, какъ выше упомянуто, оно около 1° къ востоку.

должно быть примѣненіе компаса отъ той простоты, которая по необходимости предполагается въ начальныхъ руководствахъ географіи.

Распространенность магнитныхъ явленій въ природѣ.

509. Многочисленныя наблюденія приводятъ къ несомнѣнному выводу, что на явленіяхъ земного магнитизма отзываются магнитныя дѣйствія очень отдаленныхъ отъ земли тѣлъ — солнца, луны и быть можетъ нѣкоторыхъ планетъ. Въ особенности замѣтное дѣйствіе производятъ нѣкоторыя періодическія измѣненія на солнцѣ, обнаруживающіяся появленіемъ и исчезновеніемъ пятенъ на его поверхности [1].

Этимъ немногимъ намъ приходится ограничиться, чтобы еще разъ (см. § 500) подчеркнуть распространенность и всеобщность магнитныхъ явленій въ природѣ.

Быть можетъ не лишнее еще напомнить, что магнитныя взаимодѣйствія необходимо отличать отъ того всеобщаго притяженія между тѣлами, которое принимается за причину паденія тѣлъ на землю. Послѣднее сказывается безразлично на всѣхъ тѣлахъ—въ зависимости только отъ количества, но не качества ихъ вещества,—между тѣмъ какъ дѣйствія напр. земного магнитизма обнаруживаются преднпочтительно лишь на немногихъ веществахъ. Отъ силы тяжести зависитъ вѣсъ тѣла; магнитное же дѣйствіе земли нисколько не увеличиваетъ напр. вѣса магнитной стрѣлки послѣ ея намагничиванія: оно лишь направляетъ ее опредѣленнымъ образомъ. Вообще земной магнитизмъ и сила тяжести—два разныхъ дѣятеля, и каждый изъ нихъ можно представить себѣ существующимъ безъ другого.

[1] Тѣ колоссальныя перемѣщенія массъ въ солнечной атмосферѣ, о которыхъ было упомянуто выше, въ § 346, обыкновенно сопровождаются „магнитными бурями" на земной поверхности и вмѣстѣ съ тѣмъ появленіемъ сѣверныхъ (полярныхъ) сіяній.

XXIX.
Электрическія явленія.

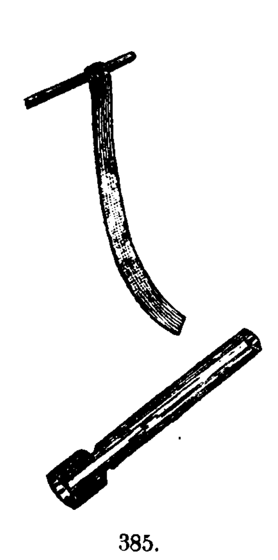
Электризованіе тѣлъ треніемъ.

510. Явленія, къ которымъ мы теперь переходимъ, представляютъ въ извѣстныхъ отношеніяхъ еще больше своеобразнаго, нежели магнитныя: они какъ бы стоятъ особнякомъ отъ всякихъ другихъ. Нѣкоторыя изъ этихъ явленій весьма обычны и конечно не разъ обращали на себя наше вниманіе въ повседневной жизни. При расчесываніи сухихъ волосъ гуттаперчевой гребенкой слышится слабое потрескиваніе, а въ темнотѣ видны искры. Если въ темной (и теплой) комнатѣ провести рукою противъ шерсти по спинѣ кошки, то искры иногда сыплются въ изобиліи. Потеревъ гребенку о сухіе волосы или мѣхъ, поднесемъ ее къ лежащимъ на столѣ бумажнымъ обрывкамъ: мы замѣтимъ, что бумажки будутъ ею притягиваться. Такого рода явленія были давно извѣстны. Еще древніе знали, что янтарь отъ тренія получаетъ способность притягивать легкіе предметы. Эти и родственныя имъ явленія были названы электрическими — отъ слова „электронъ", означающаго по гречески янтарь. Ближайшее знакомство съ ними впослѣдствіи показало, что они очень распространены въ природѣ, и что между ничтожными искорками, которыя замѣчаются при расчесываніи волосъ, и грознымъ явленіемъ молніи существуетъ тѣснѣйшая связь: молнія есть лишь огромная электрическая искра.

Вотъ еще нѣсколько простыхъ и любопытныхъ опытовъ, относящихся до электризованія тѣлъ.

Потремъ сухое и чистое ламповое стекло кускомъ шелковой матеріи или сухою оберточною бумагою: послѣ этого оно будетъ притягивать бумажные обрывки или подвѣшен-

ную вертикально бумажную полоску (рис. 385); при поднесеніи къ нему пальца оно будетъ издавать трескъ; въ темнотѣ же мы замѣтимъ и искры. Вмѣсто бумажекъ можно взять и болѣе массивный предметъ—деревянную линейку, подвѣшенную горизонтально на ниткѣ или положенную срединою на какую нибудь круглую подставку (напр. на часовое стекло, см. выше рис. 363 пред. гл.); конецъ линейки будетъ притягиваться къ натертому ламповому стеклу или наэлектризованной о волосы гребенкѣ. Наконецъ притяженіе можно обнаружить и съ помощью маленькихъ аптекарскихъ вѣсовъ, приближая стекло или гребенку къ одной изъ чашекъ.



385.

Поставимъ на сухой стеклянный стаканъ (или лучше на кусокъ п а р а ф и н а) цилиндрическую жестянку и проведемъ по ней нѣсколько разъ натертымъ, какъ указано, ламповымъ стекломъ: поднося затѣмъ къ жестянкѣ суставъ согнутаго пальца, можно будетъ извлечь изъ нея электрическую искру весьма замѣтную вблизи даже при дневномъ свѣтѣ; появленіе ея сопровождается трескомъ, а въ пальцѣ она производитъ какъ бы легкій уколъ (или судорогу).

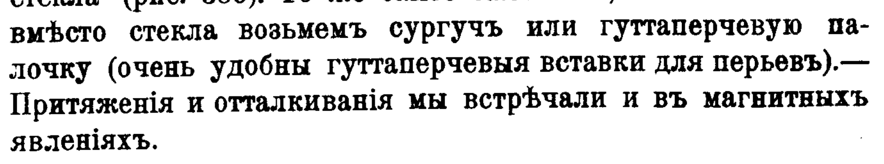
Наконецъ приложимъ къ теплой печкѣ поллиста писчей бумаги и натремъ ее рукою (тыльной ея частью) или резинкой. Бумага крѣпко пристанетъ къ печкѣ и не отпадетъ, если отнять руку. Снявъ бумагу за одинъ изъ угловъ (это сопровождается легкимъ трескомъ) и приближая руку, мы замѣтимъ сильное притяженіе; иногда слышится и трескъ.—Повторимъ опытъ; но предварительно помѣстимъ у печки металлическій подносъ на трехъ стеклянныхъ стаканахъ (непременно чистыхъ, сухихъ и лучше— с л е г к а подогрѣтыхъ). Если наэлектризованную бумагу положимъ на подносъ (перенося ея осторожно за одинъ изъ ея угловъ такъ, чтобы она ни къ чему не коснулась), то изъ подноса можно будетъ получить довольно сильную искру. Снявъ бумагу (и держа ее пока въ сторонѣ), можно извлечь изъ подноса еще искру; при вторичномъ наложеніи бумаги—еще и т. д.; иногда удается получить нѣсколько искръ одна за другою.

Описанныя выше, въ видѣ примѣровъ, электрическія

явленія своими особенностями невольно привлекаютъ вниманіе каждаго. Въ дѣйствительности они представляютъ еще гораздо больше разнообразія. Чтобы разобраться въ главнѣйшихъ электрическихъ явленіяхъ, мы разсмотримъ ихъ, какъ и магнитныя, въ нѣкоторомъ порядкѣ.

511. Отъ т р е н і я другъ о друга многія тѣла пріобрѣтаютъ свойство притягивать легко-подвижные предметы и давать искры, сопровождающіяся слабымъ трескомъ. Кромѣ уже названныхъ выше примѣровъ (стекла, потертаго шелкомъ или бумагою, гуттаперчи, потертой мѣхомъ или шерстью, бумаги, янтаря), возьмемъ еще с м о л у, напр. палочку сургуча: она хорошо электризуется при треніи о мѣхъ или шерсть. Д л я о б н а р у ж е н і я э л е к т р и з а ц і и, даже слабой, удобно пользоваться длинной узкой полоской папиросной бумаги, подвѣшенной къ какой-нибудь подставкѣ, гладкимъ кускомъ пробки или бузинной сердцевины (напр. въ видѣ шарика), висящимъ на длинной нити, или же наконецъ, при болѣе сильной электризаціи—линейкой, установленной подвижно, какъ сказано выше. При нѣкоторомъ вниманіи мы замѣтимъ не только п р и т я ж е н і е легкихъ предметовъ къ наэлетризованному тѣлу, но и о т т а л к и в а н і е отъ него. Напр. мелкія бумажки, сперва приставшія къ потертому ламповому стеклу, иногда, спустя короткое время, отскакиваютъ далеко въ стороны. Если подвѣсимъ пробочный (или бузинный) шарикъ на ш е л к о в и н к ѣ и прикоснемся къ нему наэлектризованнымъ стекломъ, то послѣ прикосновенія шарикъ будетъ упорно отталкиваться отъ стекла (рис. 386). То же самое замѣтимъ, если

386.



вмѣсто стекла возьмемъ сургучъ или гуттаперчевую палочку (очень удобны гуттаперчевыя вставки для перьевъ).—Притяженія и отталкиванія мы встрѣчали и въ магнитныхъ явленіяхъ.

Передача электрическаго состоянія; хорошіе и худые проводники.

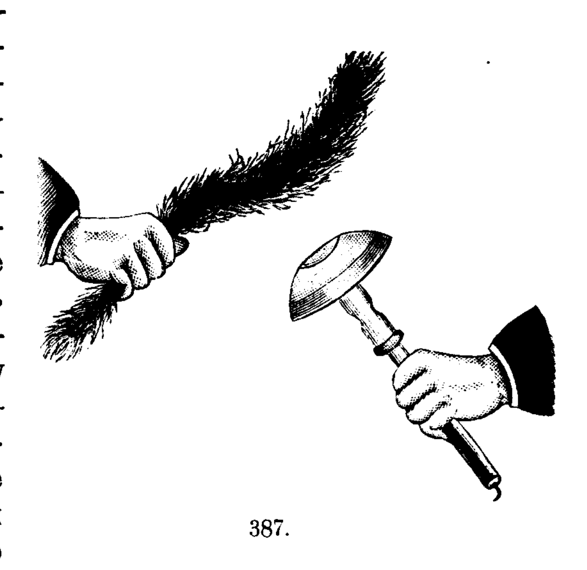
512. „Электрически-заряженное“ тѣло можетъ передавать свое „э л е к т р и ч е с к о е“ с о с т о я н і е, характеризую-

щееся описанными выше признаками, чрезъ прикосновеніе другому тѣлу. Примѣръ этого мы уже имѣли раньше—на электризованіи жестянки потертымъ ламповымъ стекломъ. Подвѣшенный на шелковинкѣ легкій шарикъ, оттолкнувшійся послѣ прикосновенія къ наэлектризованному тѣлу, самъ оказывается наэлектризованнымъ: онъ напр. притягивается къ рукѣ. Опытъ показываетъ, что наэлектризованное тѣло, касаясь другого, которому оно сообщаетъ электрическое состояніе, само частью теряетъ это состояніе. Слѣдовательно нѣчто какъ бы переходитъ при этомъ отъ одного тѣла къ другому. Это нѣчто и называютъ электричествомъ.

Легко замѣтить, что жестянка, къ которой прикасаются наэлектризованнымъ тѣломъ (см. опытъ выше) тотчасъ оказывается наэлектризованною и въ другихъ частяхъ ея поверхности. То же относится до всякаго металлическаго предмета (помѣщеннаго при опытѣ, какъ и жестянка, на стаканѣ или кускѣ парафина). Напротивъ, стекло, гуттаперча, смола обнаруживаютъ электрическое состояніе только въ томъ мѣстѣ, гдѣ оно было имъ сообщено—треніемъ или прикосновеніемъ другого наэлектризованнаго тѣла. Поэтому между тѣлами отличаютъ хорошіе и худые проводники электричества. Къ первымъ относятся металлы, земля, природная вода, тѣло животныхъ и растеній и вообще тѣла, пропитанныя водою. Изъ худыхъ проводниковъ, кромѣ стекла, гуттаперчи и смолы, назовемъ еще шелкъ, парафинъ, сѣру, сухой воздухъ. Между первыми и вторыми стоятъ такія тѣла, какъ бумага, дерево (сухія), многіе камни: ихъ можно назвать „полупроводниками". Надо замѣтить, что различіе между хорошими и худыми проводниками мы намѣчаемъ здѣсь лишь въ самыхъ общихъ чертахъ. Но и этого достаточно, чтобы значительно расширить кругъ нашихъ наблюденій надъ электризованіемъ тѣлъ и лучше понять нѣкоторыя изъ явленій, описанныхъ выше [1].

[1] Дальше мы будемъ часто говорить для краткости „проводникъ" вмѣсто „хорошій проводникъ". Выраженіе: два проводника „соединены" или „сообщены" между собою—будетъ значить, что между ними находится хорошій проводникъ (напр. въ видѣ проволоки), прикасающійся къ тому и другому.

513*. Стекло, гуттаперча, сургучъ хорошо электризуются при треніи (шелкомъ, бумагою, шерстью), а любой металлическій предметъ не показываетъ при этомъ и слѣдовъ электризаціи. Можно подумать, что металлы вообще не способны электризоваться треніемъ. Но такъ ли это? Обратимъ вниманіе на то, что металлы—хорошіе проводники электричества, и что обыкновенно мы держимъ металлъ въ рукѣ, т. е. касаемся къ нему тоже хорошимъ проводникомъ—нашимъ тѣломъ. Нѣтъ ничего удивительнаго, если металлъ при такихъ условіяхъ всегда окажется не наэлектризованнымъ. Если же мы попробуемъ отдѣлить или уединить металлъ посредствомъ дурныхъ проводниковъ отъ нашего тѣла и вообще отъ предметовъ, соприкасающихся съ поломъ или стѣнами зданія, то легко убѣдимся, что и металлическіе предметы электризуются при треніи о мѣхъ, шерсть и пр. Напр., если жестянку, поставленную на кусокъ парафина или стаканъ (чистый и сухой), будемъ натирать (лучше всего—слегка хлестать по ней) мѣхомъ, то получимъ изъ жестянки, приближая суставъ согнутаго пальца, весьма замѣтныя искры [1]. Насадимъ металлическую полую внутри вставку для перьевъ на гуттаперчевую ручку и потремъ тогда металлъ о мѣхъ или о сухіе волосы: приблизивъ ее затѣмъ къ подвѣшенной полоскѣ папиросной бумаги или подвижно установленной линейкѣ, убѣдимся, что металлическая вставка наэлектризована. Такой же опытъ можно сдѣлать съ мѣднымъ пятакомъ, прилѣпленнымъ къ концу сургучной палочки. — Возьмемъ еще металлическій подсвѣчникъ (лучше всего—безъ выдающихся заостренныхъ частей) со



387.

[1] Вмѣсто жестянки очень удобно взять чугунную (двухфунтовую или килограммовую) гирю.

вставленною въ него стеариновой свѣчей: если, держа рукою за свѣчу, будемъ бить по подсвѣчнику мѣхомъ (рис. 387), то онъ наэлектризуется и можетъ дать искру.—Вообще многія тѣла хорошо электризуются, если уединить или изолировать ихъ помощью худыхъ проводниковъ отъ пола или стѣнъ зданія, т. е. въ концѣ концовъ—отъ земли. Для предохраненія отъ потери электричества, хорошіе проводники должны быть устанавливаемы или укрѣпляемы на изоляторахъ изъ дурно проводящаго матерьяла; таковы напр. фарфоровые изоляторы, поддерживающіе на столбахъ телеграфную проволоку, или фарфоровыя кнопки, къ которымъ прикрѣпляются провода для электрическаго освѣщенія.

514. Напротивъ, наэлектризованное тѣло вполнѣ или частью теряетъ свое электрическое состояніе, если коснуться къ нему рукою: хорошій проводникъ тотчасъ же теряетъ весь свой электрическій зарядъ—„разряжается"—а дурной лишь въ томъ мѣстѣ, котораго коснулись. То же самое будетъ, если къ наэлектризованному тѣлу коснутся металлической проволокой, которую держатъ въ рукѣ или которая другимъ концомъ прикасается къ водопроводному крану, къ газопроводной трубѣ или даже просто лежитъ другимъ концомъ на полу. Для краткости говорятъ тогда, что тѣло „сообщено съ землею" или „отведено къ землѣ".

Теперь понятны будутъ нѣкоторыя указанія, которыхъ рекомендовалось придерживаться, безъ объясненій, при первыхъ элетрическихъ опытахъ: установка металлическаго предмета на парафиновой или стеклянной подставкѣ, подвѣшиваніе пробочнаго шарика на шелковинкѣ, если хотятъ замѣтить его электризацію (льняная или бумажная нить проводитъ электричество гораздо лучше, чѣмъ шелковая) и т. п. Стеклянныя подставки, употребляемыя для изоляціи, должны быть чисты и предварительно высушены, потому что стекло нечистое съ поверхности и влажное (нѣкоторые сорта стекла особенно легко покрываются влагою изъ воздуха) очень плохо изолируетъ. Поэтому стеклянныя подставки (стаканы) должны быть сперва вымыты спиртомъ и слегка подогрѣты. Сухость окружающаго воздуха тоже обезпечиваетъ успѣшность большинства электрическихъ опытовъ: въ морозный зимній день они удаются гораздо лучше, чѣмъ при оттепели, а влажное осеннее и весеннее время вообще очень неблагопріятно для производства этихъ опытовъ.

Если принять мѣры для хорошей изоляціи нашего собственнаго тѣла, то оно, какъ всякое иное, электризуется при треніи и при соприкосновеніи съ другимъ уже наэлектризованнымъ тѣломъ.

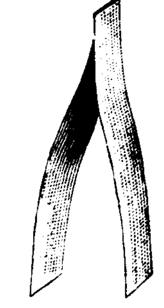
Можно стать напр. на доску, поддерживаемую тремя крѣпкими стаканами (чистыми и сухими, см. выше) или лучше—тремя толстыми кусками парафина. Если кто нибудь другой будетъ натирать (хлестать) мѣхомъ стоящаго на изоляторахъ, то къ рукѣ послѣдняго будутъ притягиваться подвѣшенныя бумажныя полоски, подвижно установленная линейка и пр.; изъ разныхъ частей его тѣла можно будетъ извлекать искры [1]. Стоящему на изолирующей подставкѣ можно также сообщить электрическое состояніе, если прикоснуться къ нему наэлектризованнымъ чрезъ треніе стекломъ, повторивъ это нѣсколько разъ.

Въ магнитныхъ явленіяхъ мы не имѣли чего либо сходнаго съ только что разсмотрѣнными примѣрами передачи электричества отъ однихъ тѣлъ другимъ при соприкосновеніи и съ изоляціей.

Электроскопъ.

515*. Подвѣсимъ рядомъ два бузинныхъ или пробочныхъ шарика (или просто двѣ пробки) на длинныхъ шелковинкахъ и прикоснемся къ шарикамъ наэлектризованнымъ стекломъ: зарядившись черезъ прикосновеніе, они оттолкнутся какъ отъ стекла, такъ и одинъ отъ другого.

Если двѣ длинныхъ бумажныхъ полоски натереть рукою, какъ выше (на теплой печкѣ), а потомъ, сложивъ ихъ верхними концами, удерживать на вѣсу, то полоски разойдутся, взаимно отталкиваясь (рис. 388).

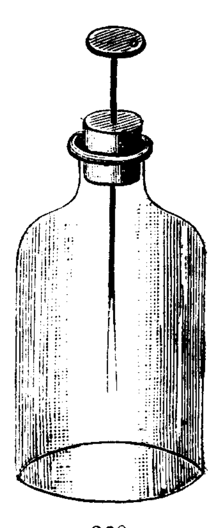

388.

Тѣла, наэлектризованныя прикосновеніемъ отъ одного и того же источника, взаимно отталкиваются — подобно тому, какъ отталкиваются одноименные концы двухъ магнитовъ.

[1] По весьма понятной причинѣ опытъ въ особенности хорошо удается, если стоящій на изоляторахъ надѣнетъ на себя резиновую накидку, по которой тогда и слѣдуетъ бить мѣхомъ.

Воспользуемся этимъ прежде всего для устройства простого и очень полезнаго при электрическихъ опытахъ прибора, называемаго э л е к т р о с к о п о м ъ. Одинъ конецъ куска мѣдной проволоки согнемъ въ видѣ небольшого кольца, а къ другому приклеимъ двѣ полоски изъ тонкой („папиросной“) бумаги или два тонкихъ алюминіевыхъ листочка; укрѣпивъ проволочку съ помощью резиновой пробки (хорошаго изолятора) на какой-нибудь подставкѣ, мы и получимъ простѣйшаго устройства электроскопъ (рис. 389). Къ верхнему концу стержня, вмѣсто упомянутаго выше кольца, чаще всего присоединяется мѣдный шарикъ или мѣдный горизонтальный кружокъ, а листочки обыкновенно помѣщаются, для защиты отъ поврежденій и отъ движенія воздуха, внутри склянки (обыкновенный электроскопъ съ бумажными или алюминіевыми листочками, рис. 390), а для болѣе точныхъ опытовъ—окружаются металлической оправою (напр. металлическимъ ящикомъ со стеклянными стѣнками, рис. 391). Для нѣкоторыхъ опытовъ очень удобно имѣть два электроскопа одного и того же устройства и съ частями по возможности одинаковыхъ размѣровъ.

389.

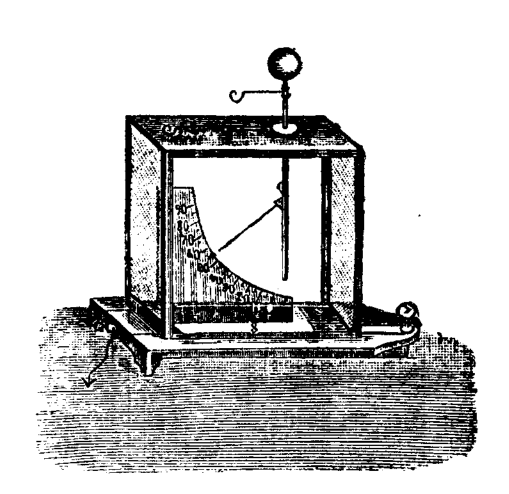


390.

Прикосновеніе наэлектризованнаго тѣла къ шарику или стержню электроскопа производитъ отталкиваніе листочковъ; по углу расхожденія мы до нѣкоторой степени можемъ судить и о с т е п е н и и х ъ э л е к т р и з а ц і и.

Съ помощью электроскопа можно сдѣлать очень наглядною разницу между х о р о ш и м и и д у р н ы м и п р о в о д н и к а м и электричества. 1) Поставимъ жестянку (или гирю) на изолирующую подставку, напр. на кусокъ парафина, и проведемъ отъ нея довольно длинную тонкую металлическую проволоку къ стержню электроскопа (проволока на пути не должна касаться сосѣднихъ предметовъ). Прикоснувшись къ жестянкѣ наэлектризованнымъ тѣломъ, увидимъ, что листочки электроскопа тотчасъ же разойдутся; прикоснемся

затѣмъ къ жестянкѣ рукою—и листочки мгновенно опадутъ. Можно взять очень длинную (тонкую) проволоку, и явленія будутъ тѣ же. 2) Если вмѣсто проволоки возьмемъ шелковинку, то электризація жестянки не передастся листочкамъ электроскопа. 3) По льняной нити электризація будетъ замѣтно передаваться — лучше или хуже, смотря по степени влажности воздуха. 4) Если же нить или шелковинку смочить водою, то онѣ быстро передадутъ электрическій зарядъ электроскопу. — Если къ з а р я ж е н н о м у электроскопу прикоснемся хорошимъ проводникомъ, д е р ж а е г о в ъ р у к ѣ, то электроскопъ мгновенно разрядится; прикосновеніе же худого проводника вообще не произведетъ замѣтнаго схожденія листочковъ. Слѣдовательно заряженный электроскопъ позволяетъ тотчасъ отличить хорошій проводникъ отъ худого.



391.

Электрическій зарядъ, такъ или иначе появившійся въ какомъ-нибудь мѣстѣ худого проводника, лишь медленно передается сосѣднимъ его частямъ. По хорошему проводнику онъ, напротивъ, распространяется почти мгновенно (хотя бы это была телеграфная проволока въ нѣсколько сотъ верстъ длиною).

Если бы электризованіе металловъ треніемъ не удалось хорошо замѣтить указанными ранѣе пріемами (§ 513), то его съ несомнѣнностью укажетъ электроскопъ.

516. Листочки электроскопа расходятся не только при непосредственномъ соприкосновеніи его шарика съ наэлектризованнымъ тѣломъ, но и тогда, когда послѣднее находится отъ него н а н ѣ к о т о р о м ъ р а з с т о я н і и. Однако стоитъ лишь убрать наэлектризованное тѣло — и листочки тотчасъ спадутся. Съ другой же стороны оказывается, что, возбуждая

электризацію, само наэлектризованное тѣло въ этомъ случаѣ нимало не утрачиваетъ своей собственной, какъ то, напротивъ, бываетъ при прямой передачѣ электрическаго заряда отъ одного проводника другому. Такимъ образомъ здѣсь не можетъ быть рѣчи о сообщеніи заряда передачею электричества черезъ воздухъ (кстати сказать—одинъ изъ лучшихъ изоляторовъ). Къ этому явленію мы еще вернемся ниже.

Нельзя не замѣтить, что разсматриваемое явленіе напоминаетъ намъ временное намагничиваніе мягкаго желѣза въ „магнитномъ полѣ", окружающемъ магнитъ. Въ настоящемъ случаѣ мы имѣемъ такъ называемое электрическое поле вокругъ наэлектризованнаго тѣла. Съ электризованіемъ тѣла именно связаны нѣкоторыя своеобразныя измѣненія въ эфирной средѣ (а также въ окружающемъ изоляторѣ, въ настоящемъ случаѣ—воздухѣ), которыя и обнаруживаются временной электризацiей всякаго проводника, внесеннаго въ электрическое поле, причемъ степень электризаціи на данномъ разстояніи отъ наэлектризованнаго тѣла мѣняется въ зависимости отъ рода изолятора.

Изслѣдованіе (на опытѣ—помощью усовершенствованныхъ въ разныхъ отношеніяхъ электроскоповъ) обнаруживаетъ большое разнообразіе свойствъ электрическаго поля, его электрическихъ дѣйствій,—между прочимъ въ зависимости отъ формы наэлектризованнаго тѣла и распредѣленія на немъ электрическихъ зарядовъ [1]. Что касается притяженія и отталкиванія наэлектризованныхъ тѣлъ, то оно тоже происходитъ не просто „на разстояніи", какъ могло бы показаться съ перваго взгляда, а при дѣятельномъ участіи среды; но въ разборъ ея роли мы здѣсь входить не можемъ.

Взаимныя дѣйствія наэлектризованныхъ тѣлъ; два рода электрическихъ зарядовъ.

517. Электрическія притяженія и отталкиванія, какъ видимъ, напоминаютъ собою взаимныя отношенія полюсовъ двухъ магнитовъ; разсмотримъ теперь ближе условія, при которыхъ происходитъ то или другое. Мы уже видѣли, что тѣла, наэлектризовавшіяся отъ одного и того же источника, взаимно отталкиваются. Но если одинъ изъ шариковъ, подвѣшенныхъ на шелковинкахъ, мы наэлектризуемъ стекломъ (какъ и прежде, потертымъ шелкомъ или бумагою), а другой—сургучомъ (потертымъ о мѣхъ или сукно), то шарики будутъ взаимно притягиваться. Отсюда мы заключаемъ о существованіи разнородныхъ электрическихъ зарядовъ. Чтобы отличить ихъ въ разныхъ случаяхъ, возьмемъ стекло и смолу (сургучъ) и посмотримъ, какъ относятся къ ихъ зарядамъ другія тѣла, наэлектризованныя треніемъ. Мы найдемъ, что они отталкиваются либо отъ стекла, натертаго шелкомъ (и тогда притягиваются къ натертой сукномъ смолѣ), либо отъ смолы, потертой о сукно (и тогда притягиваются къ наэлектризованному треніемъ о шелкъ стеклу). Изъ этого слѣдуетъ, что электрическіе заряды бываютъ двухъ родовъ: назовемъ разнородные заряды для краткости и временно „стекляннымъ" и „смолянымъ". Опыты показываютъ, что тѣла, наэлектризованныя одноименно, отталкиваются, а разноименно—притягиваются: правило, которое почти въ той же формѣ мы нашли и для магнитныхъ полюсовъ.

[1] Надо замѣтить, что „электрическое поле" отличается отъ магнитнаго какъ по способамъ его обнаруженія, такъ и по пріемамъ опытнаго изслѣдованія.

518. Соединимъ жестянку, установленную на парафиновой подставкѣ, длинной тонкой проволокой съ электроскопомъ и зарядимъ ее потертымъ стекломъ настолько, чтобы листочки разошлись на значительный уголъ. Затѣмъ прикоснемся къ жестянкѣ смоляною (или гуттаперчевою) палочкой, слегка потертою о мѣхъ: расхожденіе листочковъ уменьшится. Можно такъ подобрать условія, что „стеклянный" зарядъ вполнѣ уничтожится „смолянымъ". Опытъ легко сдѣлать съ двумя одинаковыми (по устройству и размѣрамъ частей) электроскопами. Наэлектризовавъ электроскопы разноименно, но до одинаковаго расхожденія листочковъ, сообщимъ электроскопы тонкой проволокой (конечно держа ее за изолирующую рукоятку, напр. прикрѣпленную къ ней гуттаперчевую или сургучную палочку): листочки въ обоихъ спадутся.—Разноименные эл. заряды двухъ проводниковъ относятся другъ къ другу такимъ образомъ, что частью или вполнѣ уничтожаются при сообщеніи проводниковъ между собою.

Нѣчто сходное представляютъ намъ и магниты: дѣйствіе одного полюса ослабляется или уничтожается дѣйствіемъ другого.

Вслѣдствіе только что указаннаго взаимнаго отношенія, разноименные эл. заряды называютъ положительнымъ

и отрицательнымъ [1]. Положительнымъ (со знакомъ +) принято называть зарядъ, пріобрѣтаемый стекломъ при треніи о шелкъ, а отрицательнымъ (со знакомъ —) зарядъ смолы или гуттаперчи, натертой мѣхомъ [2].

„Уничтоженіе противоположныхъ эл. зарядовъ" въ дѣйствительности конечно есть не уничтоженіе, а преобразованіе: исчезаютъ (или ослабляются) тѣ дѣйствія, въ силу которыхъ мы считаемъ проводникъ „электрически-заряженнымъ", и взамѣнъ ихъ, какъ увидимъ, появляются тепловыя. „Электрическая энергія" заряженныхъ проводниковъ преобразовывается въ теплоту.

519. О родѣ электризаціи (+или—) даннаго тѣла, какъ видно изъ предыдущаго, мы заключаемъ изъ отношенія его къ другому наэлектризованному тѣлу, знакъ заряда котораго намъ заранѣе извѣстенъ, причемъ вопросъ опредѣленнымъ образомъ рѣшается, какъ и въ случаѣ магнитныхъ полюсовъ, по отталкиванію (это разъяснится ниже). Электроскопъ и здѣсь очень облегчаетъ пробы. Если къ заряженному электроскопу поднести—достаточно близко—тѣло, заряженное одноименно съ нимъ, то листочки расходятся еще больше; если же приблизить разноименно заряженное, то уголъ расхожденія листочковъ уменьшится. Замѣтимъ, что для этого нѣтъ надобности прикасаться заряженнымъ тѣломъ къ электроскопу. Воспользуемся этимъ обстоятельствомъ (къ нему мы еще вернемся) для опредѣленія знака заряда въ нѣсколькихъ случаяхъ. Мы легко найдемъ, что отрицательно электризуются—при треніи о мѣхъ или шерсть—сѣра, парафинъ, стеаринъ, металлы, а положительно напр. бумага (сухая), натираемая резиной.

520. Если возьмемъ элекроскопъ достаточно чувствительный (лучше—съ алюминіевыми листочками) и позаботимся о надлежащей изолировкѣ тѣлъ, то найдемъ, что

[1] Названія, напоминающія собою о внѣшнемъ сходствѣ явленія съ взаимнымъ отношеніемъ положительныхъ и отрицательныхъ чиселъ.

[2] Говорятъ также: положительное и отрицательное электричество. Выраженіе „электрическій зарядъ", мнѣ кажется, на первыхъ порахъ заслуживаетъ предпочтенія, потому что оно не влечетъ за собой тотчасъ же вопроса, существуетъ ли электричество только одного или двухъ родовъ.

способность тѣлъ электризоваться при треніи чрезвычайно распространена. Восковая или стеариновая свѣча, фарфоровая чашка или тарелка, пробка, кусокъ дерева (послѣднія два тѣла обыкновенно приходится изолировать) и пр. при треніи о мѣхъ или сухіе волосы хорошо электризуются. Достаточно провести по столу волосяной изолированной кистью, чтобы она оказалась наэлектризованной. Если чинить карандашъ такъ, чтобы обрѣзки падали на пластинку, прикрѣпленную къ стержню электроскопа, то его листочки замѣтно расходятся.—Стеклянная трубка съ разрѣженнымъ воздухомъ, содержащая ртуть, при встряхиваніи въ темнотѣ свѣтится слабымъ мерцающимъ свѣтомъ (напоминающимъ зарницу) вслѣдстіе электризаціи ртути и стекла [1].—Песчинки, вздымаемыя вѣтромъ жаркихъ пустынь, снѣжинки морозной вьюги и брызги водопада часто оказываются наэлектризованными. — Тщательные опыты показываютъ, что если поверхности двухъ трущихся твердыхъ тѣлъ отличаются чѣмъ-либо одна отъ другой, то тѣла (за немногими исключеніями) при треніи электризуются. Напр. полированное стекло электризуется при треніи о такое же стекло съ матовой поверхностью. Мы видимъ, какъ обычны вокругъ насъ явленій электризаціи тѣлъ.

Трущіяся тѣла всегда электризуются разноименно: одно положительно, другое отрицательно. Такъ, когда стекло натирается шелкомъ и электризуется положительно, шелкъ электризуется отрицательно; мѣхъ при треніи о гуттаперчу электризуется положительно. Изолируя тѣла какъ слѣдуетъ, въ этомъ не трудно убѣдиться напр. съ помощью электроскопа [2].

Электризація чрезъ „вліяніе" или „индукцію".

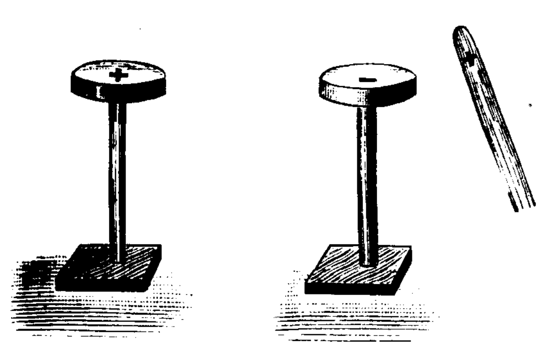
521* Обратимся теперь къ электризованію проводниковъ, наблюдаемому уже на нѣкоторомъ разстояніи отъ заряжен-

[1] Одинъ изъ многихъ примѣровъ такъ называемаго „холоднаго свѣченія", §§ 261, 382, 383.

[2] Выше (§ 514) былъ описанъ опытъ электризаціи изолированнаго человѣческаго тѣла. Если и ударяющій мѣхомъ станетъ на изолирующую подставку, то онъ тоже окажется наэлектризованнымъ, но разноименно съ тѣмъ, кого онъ ударяетъ.

наго тѣла (см. выше § 516). Наэлектризованное тѣло возбуждаетъ электрическое состояніе на окружающихъ его проводникахъ, отдѣленныхъ отъ него худыми проводниками электричества — изоляторами — напр. воздухомъ, стекломъ и пр. Опытъ показываетъ, что при этомъ конецъ проводника, обращенный въ сторону наэлектризованнаго тѣла, электризуется разноименно съ послѣднимъ, а противоположный — одноименно. По устраненіи причины, вызвавшей электризацію, проводникъ оказывается незаряженнымъ. Чтобы отличить это явленіе отъ передачи электричества путемъ проводимости его называютъ электризаціей чрезъ „вліяніе“ или индукцію [1].

Познакомиться ближе съ особенностями явленія можно посредствомъ слѣдующаго простого опыта. Установимъ два одинаковыхъ изолированныхъ проводника (напр. двѣ круглыхъ жестяныхъ коробочки на гуттаперчевыхъ вставкахъ или даже два яблока на сухихъ стеклянныхъ рюмкахъ) такъ, чтобы они касались другъ друга. Приблизимъ къ одному изъ нихъ наэлектризованное ламповое стекло и, удерживая стекло на мѣстѣ, отодвинемъ болѣе удаленный отъ стекла проводникъ на нѣкоторое разстояніе (рис. 392), послѣ чего уберемъ стекло. Теперь проба электроскопомъ (§ 515) покажетъ намъ, что проводникъ, который былъ ближе къ стеклу, заряженъ отрицательно, а другой — положительно. Но если, сдѣлавъ то же самое и убравъ стекло, мы снова сблизимъ проводники до соприкосновенія, то они окажутся незаряженными: противоположные заряды обоихъ проводниковъ „взаимно-уничтожаются“.



392.

[1] Какъ уже упомянуто выше (§ 516), электризація возбуждается здѣсь чрезъ посредство промежуточнаго изолятора; индукціонное дѣйствіе бываетъ сильнѣе или слабѣе въ зависимости отъ свойствъ послѣдняго.

Можно поступить и такъ. Сообщимъ между собою оба проводника, поставленные на нѣкоторомъ разстояніи, тонкой проволокою (на изолирующей рукояткѣ), поднесемъ наэлектризованное стекло къ одному изъ нихъ и отнимемъ проволоку: удаливъ затѣмъ стекло, опять обнаружимъ на обоихъ проводникахъ тѣ же заряды, какъ и выше. Роль болѣе удаленнаго проводника можетъ взять на себя и земля: стóитъ лишь, удерживая стекло близъ одного изъ проводниковъ, какъ раньше, въ то же время сообщить проводникъ съ землею, напр. коснувшись къ нему пальцемъ: отнявъ затѣмъ стекло, найдемъ на проводникѣ только разноименный зарядъ, отрицательный.

При нѣкоторомъ внѣшнемъ сходствѣ съ намагниченіемъ желѣза, поднесеннаго къ полюсу магнита, мы здѣсь тотчасъ находимъ и важныя различія. 1) Разноименные электр. заряды, положительный и отрицательный, могутъ быть въ отдѣльности сосредоточены на двухъ разныхъ проводникахъ. 2) Прикосновеніе руки (или вообще хорошо проводящаго тѣла, сообщеннаго съ землею) къ наэлектризованному чрезъ индукцію проводнику производитъ своеобразное измѣненіе въ его электрическомъ состояніи. Эл. зарядъ, одноименный съ зарядомъ вліяющаго тѣла, исчезаетъ: остается только разноименный, и его нельзя отвести прикосновеніемъ, пока не устранена причина, вызвавшая электризацію проводника.

Если сблизимъ оба проводника до соприкосновенія и, удерживая по близости, какъ выше, наэлектризованное стекло, прикоснемся рукою къ одному изъ проводниковъ и потомъ удалимъ стекло, то оба проводника окажутся заряженными отрицательно. Любопытно отмѣтить то обстоятельство, что возбужденный индукціей одноименный эл. зарядъ исчезаетъ, къ какой-бы точкѣ обоихъ проводниковъ мы ни коснулись.

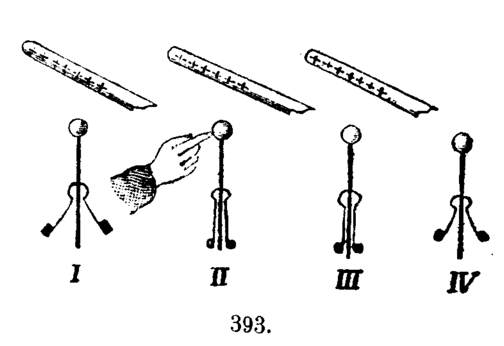
Итакъ, если проводникъ былъ наэлектризованъ чрезъ индукцію и прикосновеніемъ руки лишенъ заряда одноименнаго съ зарядомъ вліяющаго тѣла, то по удаленіи послѣдняго онъ уже является наэлектризованнымъ разноименно.

522. Можно привести множество явленій, при которыхъ происходитъ электрическая индукція.

На индукціи конечно основывается описанное выше

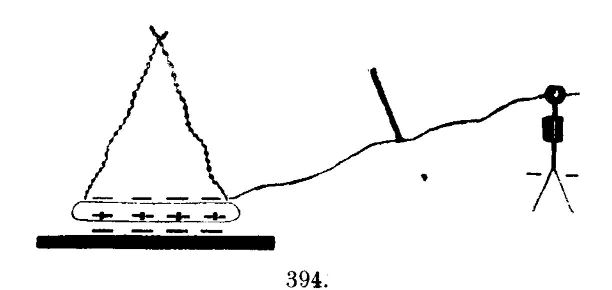
(§ 519) примѣненіе электроскопа къ опредѣленію знака (+или—) электрическаго заряда. При поднесеніи заряженнаго тѣла, въ наэлектризованныхъ уже листочкахъ возбуждается чрезъ вліяніе новый эл. зарядъ, одинаковаго знака съ зарядомъ тѣла; если онъ одного знака съ зарядомъ листочковъ, то отталкиваніе ихъ усилится, если противоположнаго—отталкиваніе ослабѣетъ, и листочки сблизятся. По удаленіи наэлектризованнаго тѣла, оба разноименныхъ заряда, которые были возбуждены (въ шарикѣ и листочкахъ) индукціей, взаимно-уничтожаются, и электроскопъ возвращается къ прежнему электрическому состоянію.

Имѣя наэлектризованное тѣло, можно чрезъ индукцію зарядить электроскопъ разноименно съ тѣломъ. Приблизимъ къ шарику электроскопа (не касаясь его) напр. потертую шелкомъ, т. е. заряженную положительно стеклянную палочку: листочки разойдутся на большій или меньшій уголъ, смотря по степени электризаціи и разстоянію поднесенной палочки (I рис. 393). Удерживая ее на неизмѣнномъ разстояніи, прикоснемся пальцемъ къ стержню или шарику электроскопа (II): листочки потеряютъ возбужденный въ нихъ индукціей положительный зарядъ и спадутся. Отнявъ палецъ (III), удалимъ затѣмъ стеклянную палочку (IV): листочки снова разойдутся, и проба покажетъ, что они теперь заряжены отрицательно. (Какъ именно произвести эту пробу?). При нѣкоторомъ навыкѣ легко такимъ образомъ зарядить электроскопъ до требуемаго угла расхожденія листочковъ. (Какая разница будетъ, если сперва удалить стеклянную палочку, а потомъ уже отнять палецъ?).



393.

523. На индукціи основано дѣйствіе чрезвычайно удобнаго для возбужденія электрическихъ зарядовъ прибора, называемаго электрофоромъ. Наэлектризуемъ ударами мѣха лежащую на столѣ гуттаперчевую пластинку и поднесемъ къ ней на близкое разстояніе плоскій круглый проводникъ, изолированный съ помощью гуттаперчевой вставки или подвѣшенный на шелковинкахъ (рис. 394)[1]. Сообщивъ

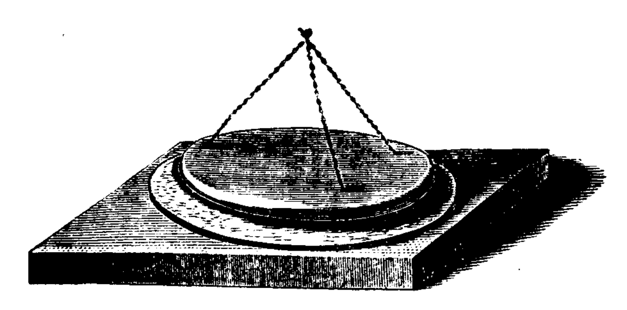

394.

его теперь, помощью проволоки, прикрѣпленнной къ гуттаперчевой рукояткѣ, съ электроскопомъ и отнявъ потомъ проволоку, испытаемъ зарядъ листочковъ: мы найдемъ его, какъ и слѣдовало ожидать, отрицательнымъ, т. е. одного знака съ зарядомъ гуттаперчи. Прикосновеніемъ руки отведемъ отрицательный зарядъ проводника, удалимъ проводникъ отъ наэлектризованной гуттаперчи и испытаемъ, съ помощью электроскопа, знакъ оставшагося заряда: онъ окажется +. Итакъ, поднося къ заряженной пластинкѣ изолированный проводникъ, мы можемъ такъ или иначе использовать сперва его зарядъ одноименный съ зарядомъ пластинки, а потомъ, удаливъ проводникъ отъ вліяющаго тѣла,—использовать остающійся разноименный зарядъ. Если поднести проводникъ къ гуттаперчевой пластинкѣ, какъ прежде, и поднять, не коснувшись сперва къ нему рукою, то проводникъ окажется незаряженнымъ.

Электрофоръ (рис. 395) именно и состоитъ изъ гуттаперчевой (или смоляной) пластины и изолированнаго плоскаго круглаго проводника (обыкновенно деревяннаго кружка, обклееннаго съ поверхности оловянной фольгой); послѣдній называется „крышкой" электрофора. Для усиленія дѣйствія, крышку прямо накладываютъ на пластину: тогда индукція происходитъ чрезъ очень тонкій слой воздуха между ними. Конечно здѣсь частью и непосредственно передается крышкѣ отрицательный зарядъ пластины: но эта передача

[1] Весьма удобно, чтобы не держать проводникъ на вѣсу, помѣстить его на три подложенныхъ кусочка резиновой трубки.

возможна только въ тѣхъ немногихъ точкахъ, въ которыхъ поверхности соприкасаются, и совершенно ничтожна сравнительно съ индукціоннымъ дѣйствіемъ. (Какъ должна бы сказаться на дѣйствіи электрофора непосредственная передача заряда крышкѣ?). Итакъ, накладывая крышку, можно



395.

будетъ использовать ея отрицательный зарядъ, а поднявъ затѣмъ—положительный. Легко убѣдиться и здѣсь, что если наложимъ крышку и поднимемъ ее, не прикоснувшись къ ней сперва рукою, то крышка при испытаніи окажется незаряженною.

Описанный выше рядъ явленій съ наэлектризованной бумагой и подносомъ (§ 510), какъ легко видѣть, тоже приводится къ индукціи. Мы имѣемъ здѣсь родъ электрофора, въ которомъ бумага соотвѣтствуетъ гуттаперчевой пластинѣ, а подносъ играетъ роль электрофорной крышки.

524*. Индукція неизбѣжно предшествуетъ притяженію между наэлектризованнымъ тѣломъ и другимъ, незаряженнымъ, а также „передачѣ электрическаго заряда“ чрезъ соприкосновеніе.

Положимъ напр., что мы приближаемъ наэлектризованное положительно ламповое стекло къ шарику, висящему на шелковинкѣ. Чрезъ индукцію, въ шарикѣ появляются разноименные эл. заряды: отрицательный на сторонѣ, обращенной къ стеклу, и + на противоположной; такъ какъ первый ближе къ + заряду стекла, то притяженіе разноименныхъ зарядовъ беретъ верхъ надъ отталкиваніемъ одноименныхъ, и шарикъ приближается къ стеклу. При соприкосновеніи со стекломъ отрицательный зарядъ шарика уничтожается съ соотвѣтственною частью положительнаго заряда стекла: шарикъ оказывается заряженнымъ положительно и отталкивается стекломъ. Пусть онъ затѣмъ приблизится къ какому нибудь „сообщенному съ землею“ проводнику, напр. къ рукѣ: чрезъ индукцію шарикъ возбудитъ въ проводникѣ два разноименныхъ заряда, изъ которыхъ положительный исчезнетъ, такъ какъ проводникъ сообщенъ съ землею, а отрицательный явится на сторонѣ, обращенной къ шарику: послѣдуетъ притяженіе. Въ моментъ соприкосновенія, эл. зарядъ, вызванный индукціей, уничтожится съ противоположнымъ зарядомъ шарика, и послѣдній „разрядится“. Послѣ этого рядъ явленій можетъ повториться въ прежнемъ порядкѣ.—Если шарикъ подвѣсить на шелковинкѣ между двумя жестянками, изъ которыхъ одна поставлена на столъ, а другая на изолирующую подставку (кусокъ парафина), то при достаточной электризаціи послѣдней (напр. помощью электрофора) шарикъ начнетъ качаться на подобіе маятника, ударяясь то объ одну жестянку, то о другую. (На этомъ основывается устройство любопытной электрической игрушки, въ которой шарикъ производитъ звонъ ударами о два колокольчика).

Легкіе шарики изъ бузинной сердцевины, положенные на столъ (или лучше—на металлическій подносъ), начинаютъ быстро прыгать вверхъ и внизъ при поднесеніи къ нимъ въ горизонтальномъ положеніи наэлектризованной крышки электрофора.

525. Разсмотримъ еще слѣдующее явленіе. Прикрѣпимъ къ шарику электроскопа хорошо заостренный кусокъ проволоки (иглу) и приблизимъ къ острію (не касаясь его) потертое шелкомъ стекло: листочки разойдутся и останутся заряженными по удаленіи стекла; зарядъ ихъ окажется положительнымъ, т. е. одноименнымъ съ зарядомъ стекла. Опытъ показываетъ, что вмѣстѣ съ тѣмъ электризація стекла соотвѣтственно ослабляется: можно почти вполнѣ разрядить стекло, если, взявъ въ руки иголку, обратить ея остріе къ стеклу и водить остріемъ вблизи наэлектризованной поверхности (еще быстрѣе дѣйствуетъ пачка или пучекъ иголокъ). Мы здѣсь конечно тоже имѣемъ дѣло съ индукціей; но возбужденный на иглѣ разноименный эл. зарядъ *не удерживается на остроконечіи*, а легко уничтожается съ соотвѣтственною частью заряда стекла чрезъ промежу-

точный слой воздуха. Есть и другія явленія, указывающія на то, что электричество легко передается остроконечіями проводниковъ воздуху, частицы котораго, наэлектризовавшись, отталкиваются и уносятъ съ собою часть заряда [1]. Такимъ образомъ при поднесеніи заряженнаго тѣла къ остроконечію проводника происходитъ какъ бы передача электрическаго заряда отъ этого тѣла проводнику—явленіе, въ которомъ важная роль принадлежитъ индукціи.

Вообще остроконечія способствуютъ выравниванію чрезъ воздухъ электрическаго состоянія тѣлъ, находящихся по близости одно отъ другого.

Общій обзоръ; электрическая энергія.

526. Сдѣлаемъ теперь общій обзоръ разсмотрѣнныхъ выше электрическихъ явленій.

1) При взаимномъ треніи тѣлъ (мы говоримъ о твердыхъ и жидкихъ) они вообще „электризуются", т. е. пріобрѣтаютъ временно новыя свойства: a) между потертымъ тѣломъ и окружающими—достаточно близкими—предметами замѣчается взаимное стремленіе сближаться, взаимное притяженіе; b) передъ непосредственнымъ ихъ соприкосновеніемъ можетъ произойти свѣтовое явленіе, сопровождающееся трескомъ, а если поднесенъ палецъ, то и уколомъ или легкой судорогой. Ниже мы увидимъ, что свѣтъ и трескъ этой „электрической искры"—слѣдствіе сильнаго и быстраго повышенія температуры на ея пути.

2) Электрическое состояніе, пріобрѣтаемое тѣломъ при треніи, распространяется по самому тѣлу и передается чрезъ соприкосновеніе другимъ тѣламъ съ очень различною быстротою (хорошіе и худые „проводники" электричества). Оно исчезаетъ при соприкосновеніи наэлектризованнаго проводника съ нашимъ тѣломъ и со многими изъ окружающихъ предметовъ („сообщеніе съ землею"). Поэтому обнаруженіе электризаціи проводника требуетъ предварительной установки его на уединителѣ (изоляторѣ) изъ худого проводника.

[1] Вотъ почему назначаемые для электрическихъ опытовъ проводники, особенно если имъ хотятъ сообщить значительную степень электризаціи, не должны имѣть острыхъ угловъ или выдающихся заостренныхъ концовъ.

3) Между тѣлами, наэлектризованными треніемъ, наблюдается либо притяженіе, либо отталкиваніе, откуда и заключаютъ о двоякаго рода электрическихъ зарядахъ; тѣла, наэлектризованныя одноименно, отталкиваются, а разноименно—притягиваются. Электрическіе заряды того и другого рода взаимно „противоположны" въ томъ смыслѣ, что ослабляютъ или уничтожаютъ другъ друга, будучи сообщены одному и тому же проводнику. Трущіяся тѣла электризуются противоположными равными (взаимно - уничтожающимися) зарядами.

4) Наэлектризованное тѣло возбуждаетъ электрическое состояніе на проводникахъ, находящихся по близости и отдѣленныхъ отъ него изолирующимъ веществомъ или „пустотою", причемъ величина заряда повліявшаго тѣла остается безъ перемѣны; со стороны, обращенной къ заряженному тѣлу, проводникъ электризуется разноименно съ тѣломъ, а съ противоположной—одноименно; по устраненіи возбудившей ихъ причины проводникъ оказывается незаряженнымъ. (Электрическая индукція).

Обратимъ вниманіе на то, что каждое изъ явленій, характеризующихъ электрическое состояніе тѣлъ, взятое въ отдѣльности (движеніе, повышеніе температуры, свѣченіе, звукъ и пр.), не представляетъ собою чего-либо новаго. Но то обстоятельство, что эти явленія при извѣстныхъ условіяхъ постоянно встрѣчаются вмѣстѣ, наводитъ на мысль о существованіи общей связующей ихъ причины,—нѣкотораго дѣятеля, называемаго электричествомъ.

527. Въ области электрическихъ явленій мы опять встрѣчаемся съ такими дѣйствіями (притяженіе и отталкиваніе, индукція), которыя, подобно магнитнымъ, происходятъ „на разстояніи", безъ того, чтобы тѣла соприкасались. Было уже сказано раньше (§ 516 и выноска § 521), что въ электрическихъ дѣйствіяхъ проводниковъ другъ на друга существенное значеніе имѣютъ промежуточные изоляторы (воздухъ, стекло и пр.). Однако, какъ показываетъ опытъ, эти дѣйствія совершаются и въ „пустотѣ", т. е. безъ посредства какихъ нибудь „тѣлъ" въ обычномъ смыслѣ слова. Такимъ образомъ въ отношеніи передачи на разстояніе магнитныя и электрическія дѣйствія напоминаютъ собою область лучистыхъ явленій, которыя происходятъ въ эфирной средѣ, хотя и въ явной зависимости отъ свойствъ промежуточныхъ тѣлъ (вспомнимъ хотя бы разныя степени „про-

зрачности"). Но магнитное и электрическое „поле" (каждое, какъ мы видѣли, со своими особенностями) представляетъ собою нѣчто установившееся, нѣчто находящееся въ состояніи извѣстнаго равновѣсія,—въ противоположность тому непрерывному состоянію движенія, которымъ характеризуются эфирныя волны. Какъ и въ случаѣ магнитныхъ явленій, принимаютъ, что при всякой электризаціи тѣлъ эфирная среда—а вмѣстѣ съ нею отчасти и самый изоляторъ—приходятъ въ особенное состояніе, которое и здѣсь можно сравнить съ натяженіемъ; благодаря ему въ электрическомъ полѣ и передаются электрическія дѣйствія.

Больше этого, по сравнительной сложности вопроса, мы здѣсь ничего не можемъ сказать о роли среды въ передачѣ электрическихъ и магнитныхъ дѣйствій. Но быть можетъ слѣдующее сравненіе, взятое изъ другой, болѣе знакомой намъ области, посодѣйствуетъ хотя нѣкоторому освѣщенію вопроса. Если бы мы ничего не знали о свойствахъ атмосфернаго воздуха,—газовой среды, въ которой мы живемъ,—то поднятіе воды въ насосѣ вслѣдъ за поршнемъ мы пожалуй могли бы приписать „притяженію" между водою и поршнемъ (что отчасти и скрывается за обыденнымъ выраженіемъ: вода „втягивается" поршнемъ), а восхожденіе аэростата—объяснить себѣ дѣйствіемъ на него нѣкоторой „отталкивательной силы" земли. Между тѣмъ въ дѣйствительности то и другое—слѣдствіе давленія среды, т. е. воздуха, на воду и аэростатъ, давленія, обусловленнаго тяжестью.—Можно указать еще на слѣдующій примѣръ. Древесныя опилки, пузырьки воздуха и т. п., плавающія на поверхности воды въ тарелкѣ, обыкновенно пристаютъ другъ къ другу и къ краямъ тарелки, какъ бы подъ дѣйствіемъ какихъ-то притягательныхъ силъ между ними; однако явленіе вполнѣ объясняется нѣкоторыми натяженіями, существующими въ поверхностномъ слоѣ воды.

528. Несомнѣнно, что наэлектризованныя тѣла обладаютъ запасомъ энергіи, такъ какъ они могутъ производить движеніе (притяженіе и отталкиваніе тѣлъ, колебаніе воздуха, производимое искрою), могутъ вызывать тепловыя явленія, лучистыя и пр.,—на что, какъ мы знаемъ, должна расходоваться энергія въ какой-либо формѣ. Разнообразныя и страшныя дѣйствія молніи—огромной электрической искры—дѣлаютъ до очевидности ясными нѣкоторыя проявленія той новой для насъ формы энергіи, которая называется электрическою. Когда электризація тѣлъ уменьшается или исчезаетъ, напр. при „соединеніи" двухъ противоположныхъ электрическихъ зарядовъ, при отводѣ электрическаго заряда въ землю, при разрядѣ искрою и пр., электрическая энергія переходитъ въ другіе виды энергіи, главнымъ образомъ въ теплоту.

529. На вопросъ, что̀ такое электричество, надо сознаться, еще нѣтъ достаточно установившагося отвѣта въ наукѣ, а въ нашемъ элементарномъ изложеніи нельзя дать сколько-нибудь яснаго понятія о существующихъ на этотъ счетъ догадкахъ (гипотезахъ). Нѣтъ единства даже по основному вопросу: достаточно-ли для объясненія явленій принять существованіе одного рода электричества, или необходимо принятіе двухъ: положительнаго и отрицательнаго? Нѣкоторыя явленія лучше объясняются съ первой точки зрѣнія, другія, напротивъ, легче мирятся съ принятіемъ двухъ родовъ электричества [1].

Въ виду этого въ нашемъ изложеніи остается какъ можно ближе придерживаться указаній опыта, поскольку наши простые опыты могутъ способствовать выясненію взаимной зависимости явленій. Что же касается выраженій или терминовъ, то мы предпочитаемъ тѣ, которые соотвѣтствуютъ принятію одного электричества: мы принимаемъ, что электричество проникаетъ собою все окружающее насъ пространство и всѣ тѣла, легко перемѣщается въ „хорошихъ проводникахъ" и мало подвижно въ „дурныхъ". Затѣмъ разобраться въ явленіяхъ намъ помогутъ, какъ всегда, нѣкоторыя сравненія.

---

513. Что можно заключить изъ опыта съ подсвѣчникомъ о проводящей способности стеарина?—**515.** Какъ чрезъ прикосновеніе къ электроскопу сравнить проводимость деревянной палочки карандаша и его графитовой сердцевины?—**521.** Что сходнаго съ внѣшней стороны между описанными сдѣсь явленіями электр. индукціи въ проводникахъ и отношеніемъ *мягкаго желѣза къ магниту?* Въ чемъ явное различіе? (См. §§ 497 и 498).—**524.** Если къ шарику заряженнаго электроскопа близко *поднести руку* (не касаясь шарика), то листочки немного сходятся, а послѣ удаленія руки снова возвращаются въ прежнее положеніе. Почему?—Желая узнать, заряжено-ли тѣло и какъ именно (+ или —), мы подносимъ его напр. къ подвѣшенному на шелковинкѣ шарику, заранѣе наэлектризованному + или —. Почему вопросъ

[1] Вотъ какъ современное положеніе дѣла характеризуется въ извѣстномъ большомъ „Курсѣ физикѣ" проф. О. Д. Хвольсона. (IV т., 1-я половина, 1907, стр. 3): „Не преувеличивая и глядя трезво на факты, мы должны сказать, что въ той части науки, которая стремится объяснить электрическія и магнитныя явленія, въ данный моментъ нѣтъ твердо установившейся теоріи, которая могла бы служить надежнымъ и вполнѣ яснымъ фундаментомъ для объясненія всѣхъ сюда относящихся явленій".

опредѣленнымъ образомъ рѣшается лишь въ случаѣ *отталкиванія?*—Какова роль подноса при опытахъ съ шариками, описанныхъ въ концѣ §? Происходило-ли-бы явленіе точно такъ же, если-бы шарики лежали на изолирующей подставкѣ?

XXX.

Сравненіе нѣкоторыхъ электрическихъ явленій съ другими явленіями. Электрическій разрядъ и его дѣйствія.

Сравненіе нѣкоторыхъ электрическихъ явленій съ другими явленіями.

530. Чтобы лучше освоиться съ нѣкоторыми сторонами электрическихъ явленій, постараемся отыскать сходства между ними и другими, болѣе привычными или ближе намъ извѣстными явленіями.

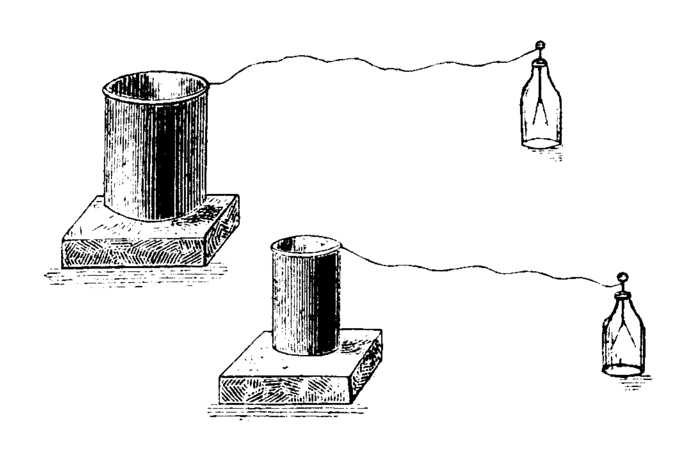
Приведемъ между собою въ соприкосновеніе два неодинаково нагрѣтыхъ тѣла. Теплота будетъ переходить отъ тѣла, котораго температура выше, къ тѣлу съ болѣе низкой температурой, и это будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока температуры ихъ не сравняются. Необходимымъ условіемъ перехода теплоты является различная „степень нагрѣтости“ тѣлъ — разность температуръ.

Сходнымъ образомъ электричество переходитъ съ одного проводника на другой тогда, когда существуетъ разность въ „степени электризаціи“ проводниковъ, и переходъ прекращается съ исчезновеніемъ этой разности. О величинѣ, которую мы называемъ степенью электризаціи, можно судить по углу расхожденія листочковъ электроскопа — какъ оцѣнку температуры можно дѣлать напр. по расширенію воздуха въ воздушномъ термоскопѣ (§ 150).

Сообщимъ (тщательно изолированный, напр. кускомъ парафина) проводникъ съ электроскопомъ помощью тонкой длинной проволоки—длинной настолько, чтобы зарядъ про-

водника не оказывалъ замѣтнаго дѣйствія на электроскопъ чрезъ раздѣляющій ихъ изоляторъ (воздухъ). Притрогиваясь къ проводнику напр. наэлектризованнымъ стекломъ, мы замѣтимъ, что съ каждымъ прикосновеніемъ листочки расходятся больше и больше. При этомъ—что особенно важно—уголъ расхожденія листочковъ будетъ одинъ и тотъ же, съ какой бы точкой поверхности, внѣшней или внутренней, не сообщался электроскопъ. Электрическое состояніе проводника характеризуется именно нѣкоторою величиною, которая во всѣхъ его точкахъ одинакова, подобно тому, какъ установившееся тепловое состояніе тѣла опредѣляется его температурою, которая тоже одинакова въ разныхъ частяхъ его.

Теперь зарядимъ два проводника въ разной степени. Пусть напр. меньшій изъ нихъ даетъ при сообщеніи съ электроскопомъ (указаннымъ выше образомъ) бо́льшее расхожденіе листочковъ. Сообщимъ оба проводника, хотя бы на одно мгновеніе, тонкой проволокой (конечно на изоли-



396.

рующей рукояткѣ): послѣ этого каждый изъ нихъ дастъ одинаковое расхожденіе листочковъ. Опытъ особенно нагляденъ, если взять два по возможности одинаковыхъ электроскопа и сообщить ихъ длинными тонкими проволочками съ каждымъ изъ проводниковъ въ отдѣльности (рис. 396).—Какъ видимъ, явленіе очень походитъ на выравниваніе

температуръ двухъ неодинаково нагрѣтыхъ тѣлъ, но только происходитъ гораздо быстрѣе.

Для краткости мы будемъ разность степеней электризацiи называть просто электрической разностью.

Электрическая разность—необходимое условiе перехода электричества съ одного проводника на другой или отъ одной части проводника къ другимъ, подобно тому, какъ разность температуръ — необходимое условiе передачи теплоты. Если къ наэлектризованному проводнику, хотя бы и сильно заряженному, мы приблизили бы другой, заряженный одноименно въ той же степени, то не получили бы искры, какъ будто проводники вовсе не были наэлектризованы.

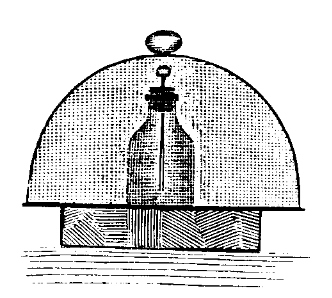
531. Теперь представимъ себѣ помѣщенiе, всѣ части котораго имѣютъ одну и ту же неизмѣнную температуру. Въ такомъ пространствѣ не происходило бы никакихъ перемѣнъ, связанныхъ съ переходомъ теплоты отъ одного тѣла къ другому или отъ однѣхъ частей тѣла къ другимъ,—не происходило бы никакихъ тепловыхъ явленiй (или, по крайней мѣрѣ, они ничѣмъ не обнаруживались бы).

Нѣчто подобное можно сказать и объ электрическихъ явленiяхъ. Выше, § 516, было упомянуто, что пространство вокругъ наэлектризованнаго тѣла тоже находится въ электрическомъ состоянiи. Въ пространствѣ, всѣ части котораго находятся въ одномъ и томъ же электрическомъ состоянiи, не бываетъ того, что́ мы называемъ переходомъ электричества. Опытъ показываетъ, что въ немъ не наблюдается также электрическихъ притяженiй и отталкиванiй.

Такое пространство легко осуществить. Въ закрытомъ со всѣхъ сторонъ помѣщенiи, стѣнки котораго имѣютъ нѣкоторую постоянную температуру, устанавливается повсюду та же самая температура. Точно также, если взять замкнутую металлическую оболочку, то все пространство внутри нея будетъ находиться въ томъ же электрическомъ состоянiи, какъ и самая оболочка. Для опыта достаточно окружить данное пространство со всѣхъ сторонъ металлической сѣткою; электризуя ее, можно будетъ видѣть, что происходитъ съ приборами внутри сѣтки.

Поставимъ электроскопъ на металлическую пластинку (изолированную напр. кускомъ парафина) и покроемъ его сѣтчатымъ проволочнымъ колпакомъ, который зарядимъ напр. помощью натертаго стекла (рис. 397). Тогда все пространство внутри сѣтчатаго проводника получитъ ту же степень электризацiи, какъ его наружная поверхность. Никакихъ электрическихъ разностей внутри не будетъ, и мы увидимъ, что листочки электроскопа остануться въ покоѣ. Будетъ ли электроскопъ соединенъ съ сѣткой помощью проводника или нѣтъ—это здѣсь безразлично.

Еслибы наблюдатель помѣстился съ самыми чувствительными электроскопами внутри полаго изолированнаго проводника (ящика), заряжаемаго снаружи до какой угодно степени, то онъ не замѣтилъ бы ни малѣйшихъ электрическихъ дѣйствiй. (Такiе опыты были произведены въ дѣйствительности).



397.

Электроскопъ, листочки котораго окружены оправой изъ хорошаго проводника (см. напр. рис. 391 пред. гл.), не покажетъ никакого отклоненiя, если источникъ электризацiи сообщитъ одновременно съ листочками и съ оправою. (Конечно послѣдняя должна быть изолирована отъ стола). Электроскопъ указываетъ намъ именно лишь разность электрическихъ состоянiй, соотвѣтствующихъ его листочкамъ и оправѣ (оболочкѣ).

532. Величина, которую мы здѣсь называемъ степенью электризацiи проводника, есть какъ бы „электрическая температура“. И какъ нѣкоторая неизмѣнная температура, именно температура тающаго льда, принимается за нулевую, такъ точно можно условиться считать за 0 нѣкоторую постоянную степень электризацiи. Для этого мы не станемъ искать предмета, который былъ бы совершенно лишенъ электричества. Такихъ предметовъ на землѣ нѣтъ, какъ нѣтъ тѣлъ, совершенно лишенныхъ теплоты. Несомнѣнно, что и земля, и окружающая ее атмосфера всегда наэлектризованы (ниже будетъ кое-что сказано объ электрическихъ явленiяхъ въ атмосферѣ). За нуль мы примемъ степень электризацiи самой земли. Проводникъ, наэлектризованный положительно, мы будемъ считать имѣющимъ степень электризацiи выше земной, а наэлектризованный отрицательно — ниже.

Заряженный проводникъ, будучи соединенъ проводящими тѣлами съ землею, разряжается: это значитъ, что онъ принимаетъ степень электризацiи земли. Если проводникъ былъ заряженъ положительно, то мы скажемъ, что электричество отъ него переходитъ къ землѣ. Но если проводникъ былъ заряженъ отрицательно, т. е. если степень его электризацiи была ниже, чѣмъ земли, то мы должны наоборотъ

сказать, что выравниванiе электр. разности происходитъ путемъ перехода электричества съ земли на проводникъ. Нѣчто подобное мы имѣли бы напримѣръ въ случаѣ термометра, находящагося въ тепловомъ общенiи съ тающимъ льдомъ (или съ очень большимъ тѣломъ нулевой температуры): если термометръ имѣлъ температуру выше 0°, то теплота переходитъ отъ него ко льду, и показанiе термометра понижается до 0°; если же ртуть въ термометрѣ стояла ниже 0°, то теплота отъ льда переходитъ къ термометру и повышаетъ его температуру до 0°.

Отклоненiе листочковъ электроскопа, какъ было упомянуто выше, соотвѣтствуетъ разности въ степеняхъ электризацiи самихъ листочковъ и окружающей ихъ оправы. Для правильнаго сужденiя о степени электризацiи какого-нибудь проводника, соединеннаго съ электроскопомъ, надо его оправу сообщать съ землею: иначе степень электризацiи оправы можетъ отличаться отъ нуля, и электроскопъ покажетъ не то, что слѣдуетъ. Въ нашихъ обычныхъ опытахъ съ электроскопомъ, не требующихъ особенной точности, мы чаще всего обходимся безъ этой предосторожности—и даже безъ всякой оправы—потому именно, что степень электризацiи окружающихъ предметовъ, какъ находящихся въ сообщенiи съ землею, можно считать=0. Однако, если листочки окружены стекломъ (какъ въ обыкновенномъ электроскопѣ, рис. 390), т. е. дурнымъ проводникомъ, то случайная электризацiя его можетъ иногда сильно повредить опытамъ.—Когда хотятъ наблюдать электрическую разность двухъ проводниковъ, достаточно сообщить одинъ изъ нихъ съ шарикомъ (т. е. съ листочками) электроскопа, а другой—съ его оправою.

533. Два одинаковыхъ—по устройству и размѣрамъ—электроскопа, заряженные разноименно, но до одинаковаго расхожденiя листочковъ, послѣ сообщенiя проводникомъ принимаютъ нулевую степень электризацiи—подобно тому, какъ два совершенно одинаковыхъ термометра съ температурами + 10° и — 10° послѣ теплового обмѣна покажутъ 0° (конечно при условiи, если нѣтъ постороннихъ тепловыхъ влiянiй). Если же уголъ расхожденiя листочковъ былъ различенъ, то послѣ сообщенiя оба электроскопа оказываются наэлектризованными—въ одинаковой степени—положительно или отрицательно. Для сравненiя положимъ, что приведены въ соприкосновенiе два одинаковыхъ термометра, имѣющiе температуры+10° и—6°. Ртуть въ первомъ опустится на столько же градусовъ, на сколько она поднимется во второмъ, и окончательная температура обоихъ термометровъ

будетъ средняя между+10° и—6°, т. е.+2°. Еслибы первоначальныя температуры были—10° и+6°, то окончательная была бы—2°.

Обыкновенный электроскопъ даетъ намъ средство судить почти что только о равенствѣ или неравенствѣ степеней электризацiи. Кромѣ того, показанiя разныхъ электроскоповъ вообще не согласны между собою: бо̀льшiй уголъ расхожденiя листочковъ не будетъ непремѣнно соотвѣтствовать и болѣе высокой степени электризацiи того проводника, который съ нимъ сообщается (сравн. съ показанiями термоскоповъ); поэтому-то для нѣкоторыхъ изъ вышеописанныхъ опытовъ важно имѣть два по возможности одинаковыхъ электроскопа. Есть приборы, позволяющiе выражать степень электризацiи численно, въ нѣкоторыхъ условныхъ единицахъ, — измѣрять степень электризацiи. Такiе приборы называются электрометрами. Показанiя ихъ могутъ быть согласованы между собою, какъ и показанiя разныхъ термометровъ, хотя бы ихъ устройство и размѣры были очень различны.

Разъ степени электризацiи измѣрены, съ полученными числами можно производить арифметическiя дѣйствiя, какъ со всякими другими. Если напр. два проводника A и B заряжены положительно, и степень электризацiи перваго выражается числомъ 75, а второго 25, то электрическая разность проводниковъ будетъ=50. Если второй проводникъ сообщить съ землею, то степень его электризацiи упадетъ до 0, и электрическая разность проводниковъ увеличится до 75. Положимъ теперь, что второй проводникъ наэлектризованъ отрицательно, и что степень его отрицательной электризацiи=25. Какимъ числомъ выразится тогда электрическая разность проводниковъ? Такъ какъ степень электризацiи второго проводника на 25 единицъ ниже нуля, т. е. степени электризацiи земли, а перваго—на 75 единицъ выше, то электрическая разность будетъ=100 единицамъ, подобно тому, какъ температура+75° на 100 градусовъ выше температуры — 25°. Пользуясь для отличенiя противоположныхъ электризацiй знаками+ и—, мы въ этомъ случаѣ выразили бы степень электризацiи перваго проводника числомъ+75, а второго числомъ—25, и по правилу вычитанiя отрицательныхъ чиселъ имѣли бы: 75—(—25)=75+25=100. Если второй проводникъ теперь сообщить съ землею, то степень его электризацiи повысится до 0, и электрическая разность проводниковъ опять будетъ=75 ед. [1].

534. Проводя параллель между степенью электризацiи и температурою, обратимъ вниманiе и на

---

[1] Въ научныхъ сочиненiяхъ по электричеству и въ электротехникѣ степень электризацiи проводника называютъ его электрическимъ потенцiаломъ; наше выраженiе „электрическая разность“ соотвѣтствуетъ разности потенцiаловъ.

существенныя различія, которыя никоимъ образомъ не слѣдуетъ упускать изъ виду. Съ измѣненіемъ температуры тѣла, измѣняются почти всѣ его свойства: оно становится какъ бы другимъ тѣломъ; оно можетъ расплавиться, испариться, разложиться и пр. Электризація же тѣлъ гораздо меньше отзывается на ихъ главныхъ физическихъ признакахъ: измѣненія могутъ быть замѣчены лишь при точныхъ и болѣе или менѣе сложныхъ наблюденіяхъ [1]. Нагрѣтыя въ разной степени тѣла производятъ въ насъ своеобразныя ощущенія, располагающіяся также по степенямъ и легко приводящія насъ къ понятію о „температурѣ". Наэлектризованныя же тѣла не производятъ въ нашихъ органахъ чувствъ какого-либо особаго ощущенія, которое отличалось бы отъ тепловыхъ, осязательныхъ, мышечныхъ, свѣтовыхъ и пр. Не надо именно забывать, что, отмѣчая важныя для насъ сходства въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ, мы все же имѣемъ дѣло съ разными физическими дѣятелями, съ разными формами энергіи.

535. Тепловыя явленія—не единственныя, съ которыми можно въ извѣстныхъ отношеніяхъ сопоставить электрическія. Самый переходъ теплоты изъ одного тѣла въ другое мы сравнивали выше (§ 403) съ перетеканіемъ жидкости подъ дѣйствіемъ тяжести. Это сопоставленіе умѣстно и для случая перехода электричества. Въ двухъ сообщающихся сосудахъ жидкость остается въ покоѣ, пока уровни ея въ сосудахъ одинаковы. Но если уровень въ одномъ выше, чѣмъ въ другомъ, то жидкость перетекаетъ въ сосудъ съ низшимъ уровнемъ, пока уровни не станутъ одинаковыми. Во время перемѣщенія жидкость можетъ производить тѣ или другія дѣйствія; такъ вода, падая съ высшаго уровня на низшій, вертитъ мельничное колесо.

„Электрическую разность" можно въ этомъ смыслѣ считать соотвѣтствующею разности уровней. Какъ при одинаковости уровня жидкость не перетекаетъ, такъ при отсутствіи электрической разности на проводникахъ не совершается перехода электричества съ одного на другой. Выраженіе „степень электризаціи", которымъ мы пользовались выше

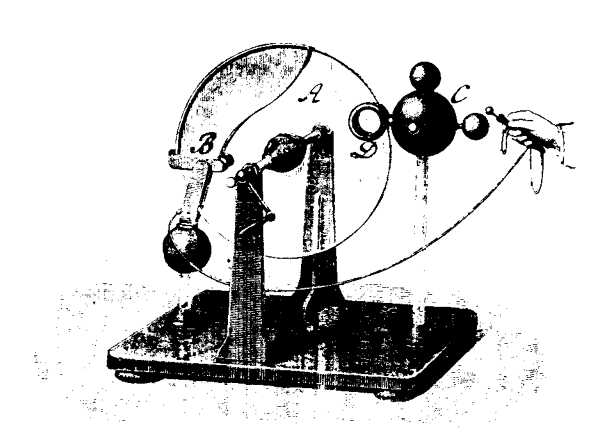
[1] Обнаруживающихъ именно существованіе того натяженія въ изоляторахъ, о которомъ упомянуто въ § 527.

для характеристики электрическаго состоянія проводника, можно замѣнить также выраженіемъ „электрическій уровень". Электрическій уровень земли принимается за нулевой, и проводникъ, наэлектризованный положительно, считается имѣющимъ электрическій уровень выше 0, а наэлектризованный отрицательно—ниже 0. Такъ точно при измѣреніи высотъ на земной поверхности уровень моря (океана) принимается за нулевой, и можно сказать, что уровень водъ, лежащихъ надъ поверхностью моря, выше 0, а подъ его поверхностью—ниже 0. Нѣчто сходное мы имѣемъ и въ счетѣ температуръ вверхъ и внизъ отъ нѣкотораго условнаго нуля—температуры тающаго льда.

536. Переходъ электричества съ одного проводника на другой обусловливается разностью въ степеняхъ электризаціи, разностью электрическихъ уровней. Но дѣйствія, наблюдаемыя нами при этомъ переходѣ, могутъ быть сильнѣе или слабѣе въ зависимости еще отъ чего-то, кромѣ электрической разности. Напр., приближая руку къ двумъ проводникамъ разной величины, имѣющимъ одну и ту же степень электризаціи, мы отъ бóльшаго получимъ болѣе „толстую" съ виду и болѣе яркую искру, производящую болѣе замѣтную судорогу въ пальцѣ и болѣе громкій трескъ. Различіе въ дѣйствіяхъ при одной и той же электрической разности приводитъ насъ къ представленію о другой величинѣ, которую можно назвать запасомъ или количествомъ электричества; это количество, какъ всякую другую величину, можно измѣрять: выражать численно въ нѣкоторыхъ условныхъ единицахъ. Запасъ электричества на проводникѣ мы должны вообще считать тѣмъ бóльшимъ, чѣмъ больше размѣры проводника и чѣмъ выше степень его электризаціи. Однако дальше мы познакомимся съ однимъ очень своеобразнымъ пріемомъ накопленія на проводникахъ большихъ запасовъ электрической энергіи при сравнительно маломъ размѣрѣ ихъ и невысокой степени электризаціи.

О приспособленіяхъ, служащихъ для полученія болѣе сильныхъ электрическихъ дѣйствій. Явленія электрическаго разряда.

537. Отъ ламповаго стекла, электризуемаго треніемъ и сообщающаго свой зарядъ изолированной жестянкѣ (§ 510), недалеко до обыкновенной электрической машины, которая позволяетъ накоплять на проводникахъ гораздо



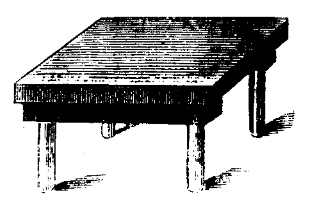
398.

бо́льшіе запасы электричества, чѣмъ это можно сдѣлать описанными въ предыдущей главѣ простыми пріемами. Такая машина (рис. 398) состоитъ изъ стекляннаго круга A, который при вращеніи за рукоятку проходитъ между двухъ „подушекъ“ или „натирателей“ B и здѣсь электризуется положительно; электризующіяся же отрицательно подушки (поддерживаемыя стеклянной ножкой), обыкновенно сообщаются помощью проволоки или цѣпочки съ землею [1]. Главный проводникъ или „кондукторъ“ машины C (тоже изолированный стеклянной ножкой) не касается стекляннаго круга, а отдѣленъ отъ него вилообразно развѣтвленной частью D съ остріями, обращенными къ стеклу (ихъ не видно на рисункѣ). Остроконечія, какъ мы знаемъ (§ 525), выравниваютъ электрическую разность чрезъ промежуточный слой воздуха, и такимъ образомъ кондукторъ электризуется положительно; стекло же, утрачивающее здѣсь свой зарядъ, снова электризуется при треніи о подушки. Чтобы уменьшить потерю электричества со стекляннаго круга въ воздухъ, часть круга со стороны натирателей покрывается чехломъ изъ шелковой матеріи. — Послѣ нѣсколькихъ оборотовъ круга можно извлекать изъ кондуктора, приближая къ нему руку, болѣе или менѣе сильныя искры. (Объ искрѣ см. ниже § 539).

[1] Для надежнаго сообщенія съ землею лучше всего провести отъ натирателя проволоку къ водопроводной или газопроводной трубѣ, къ желѣзной печкѣ, или же держать конецъ проволоки въ рукѣ, какъ и показано на рисункѣ.

Всѣ опыты, которые служили намъ въ предыдущей главѣ для характеристики электрическаго состоянія, производятся съ помощью машины въ болѣе эффектномъ видѣ. Нѣкоторыя электрическія дѣйствія, благодаря болѣе значительнымъ электрическимъ зарядамъ и эл. разностямъ, конечно могутъ быть лучше наблюдаемы. Изъ множества интересныхъ опытовъ съ электрической машиною мы остановимся лишь на электризованіи нашего собственнаго тѣла и на нѣкоторыхъ явленіяхъ, происходящихъ при выравниваніи электрическихъ разностей, процессѣ, который вообще носитъ названіе электрическаго разряда.

538. Если стать на изолирующую подставку и держать руку въ соприкосновеніи съ кондукторомъ электрической машины, то наше тѣло наэлектризовывается, будучи проводникомъ электричества. Изъ разныхъ частей тѣла можно тогда извлекать довольно сильныя электрическія искры. Легкіе или легко подвижные предметы будутъ къ частямъ тѣла притягиваться, а зарядившіеся чрезъ прикосновеніе одноименно—отталкиваться. Любопытное явленіе „электрической пляски“ произойдетъ, если



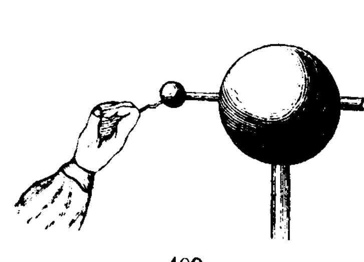
399.

электризуемый, держа ладонь свободной руки горизонтально, приблизитъ ее къ металлическому подносу съ лежащими на немъ бузинными шариками.—Волосы на головѣ электризуемаго, если они мягки и сухи, при достаточно сильной электризаціи, взаимно отталкиваясь, становятся дыбомъ. — Для этихъ опытовъ пользуются или изолирующей скамьей (скамья

на стеклянныхъ ножкахъ, рис. 399), или же просто становятся на доску, поддерживаемую крѣпкими стеклянными стаканами или кусками парафина. Натиратель машины все время долженъ оставаться въ сообщеніи съ землею, потому что иначе отрицательная электризація подушекъ будетъ уничтожать положительную электризацію стекляннаго круга, и стекло скоро перестанетъ заряжаться.

Электрическое состояніе организма не сопровождается само по себѣ какимъ-либо особеннымъ ощущеніемъ: мы не „чувствуемъ" этого состоянія, какъ бы высока ни была степень электризаціи. Ощущенія (мышечныя, болевыя и тепловыя) получаются только при быстрыхъ измѣненіяхъ степени электризаціи, напр. въ моменты разряда искрами. Судорожное сотрясеніе частей тѣла зависитъ въ такихъ случаяхъ отъ мгновеннаго сокращенія мышцъ.— Сильный электрическій разрядъ можетъ причинить столбнякъ и даже убить большое животное (таковы напр. дѣйствія молніи). Но обыкновенная электрическая машина не причиняетъ ни малѣйшаго вреда.

539. Разсмотримъ теперь нѣсколько ближе замѣчательное явленіе электрической искры. Искра, разсѣкающая воздухъ при приближеніи напр. руки къ кондуктору электрической машины, происходитъ вслѣдствіе быстраго (почти мгновеннаго) выравниванія чрезъ воздухъ значительной электрической разности и развитія теплоты насчетъ электрической энергіи. Для полученія наиболѣе сильной искры изъ кондуктора машины, какъ ея натиратель, такъ и подносимый къ кондуктору проводникъ (не слишкомъ маленькій мѣдный шарикъ на стержнѣ, см. рис. 398) должны быть хорошо сообщены съ землею. Поднося руку, обращаютъ впередъ согнутый суставъ пальца (рис. 400), а не ноготь; послѣдній дѣйствуетъ какъ остріе, способствуя незамѣтному выравниванію части электрической разности чрезъ воздухъ еще до появленія искры, и искра получится болѣе слабая.

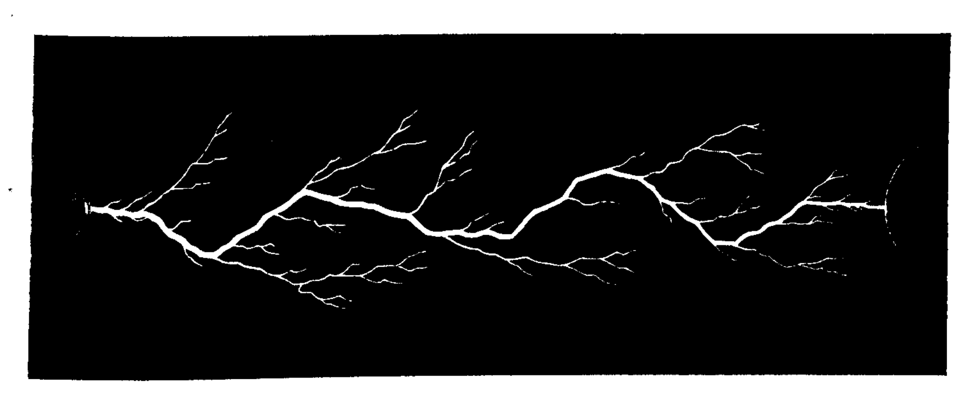


400.

Электрическая искра тѣмъ длиннѣе, чѣмъ больше производящая ее электрическая разность; но дѣйствія электрической искры, ея энергія, какъ было упомянуто выше (§ 536), зависятъ еще и отъ количества запасеннаго электричества. Поэтому можно до извѣстной степени усилить искру, увеличивая размѣры кондуктора, напр. присоединяя къ нему другой достаточно большой изолированный проводникъ (ведро на парафиновыхъ подставкахъ).

Большая электрическая искра имѣетъ видъ настоящей молніи, какъ напр. показываетъ рис. 401.

540. Электрическая искра имѣетъ очень высокую температуру. Искрою обыкновенной электрической машины легко зажечь бензинъ, эфиръ и т. п. Опытъ проще всего производится такъ. Головку гвоздя обвязываютъ пропускной бумагой, смачиваютъ бензиномъ и подносятъ ее, держа гвоздь въ рукѣ, къ кондуктору электрической машины (какъ шарикъ на рис. 398): въ моментъ появленія искры бензинъ вспыхиваетъ (иногда это происходитъ послѣ нѣсколькихъ искръ подъ-рядъ).—Сильная электрическая искра можетъ зажечь дерево, накалить и расплавить металлическую проволоку и даже превратить любой металлъ въ парообразное состояніе (таковы напр. дѣйствія молніи).



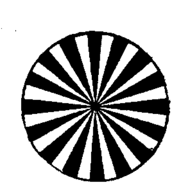
401.

Свѣтъ электрической искры происходитъ въ значительной мѣрѣ отъ накаливанія газовъ воздуха и мелкихъ металлическихъ частичекъ, отрывающихся отъ поверхности проводниковъ, между которыми она появляется. При извѣст-

ныхъ условіяхъ электрическая искра производитъ ослѣпительно-сильный свѣтъ.

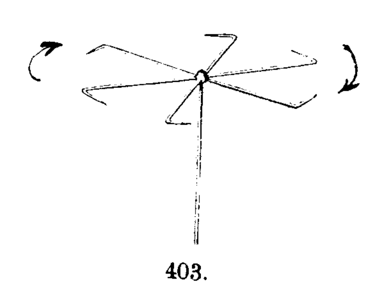
Трескъ электрической искры — прямое слѣдствіе развитія теплоты: быстрое нагрѣваніе и слѣдующее затѣмъ охлажденіе сопровождаются кратковременными расширеніями и сжатіями воздуха, т. е. сотрясеніями, дающими начало звуковымъ волнамъ. Звукъ сильной электрической искры напоминаетъ пистолетный выстрѣлъ.

541. Электрическая искра длится чрезвычайно короткое время. Если въ темнотѣ освѣтить электрической искрой быстро вращающійся картонный кружокъ, раздѣленный по радіусамъ на бѣлыя и черныя части (секторы, рис. 402), то въ моментъ появленія искры онъ покажется остановившимся. Въ теченіе того короткаго времени, какое длится искра, части вращающагося кружка именно не успѣваютъ перемѣститься сколько-нибудь замѣтнымъ для глаза образомъ. (Такую же кажущуюся остановку предметовъ, напр. колесъ экипажа, можно наблюдать и въ моментъ освѣщенія ихъ молніей). Опыты показали, что продолжительность электрической искры измѣряется милліонными долями секунды[1].



402.

542. Электрическій разрядъ чрезъ посредство остроконечія (§ 525 пред. гл. и § 537) можетъ быть наглядно обнаруженъ слѣдующимъ образомъ. Колеско, состоящее изъ нѣсколькихъ проволочныхъ спицъ, загнутыхъ острыми концами въ одну сторону, помощью шляпки насаживается подвижно на изолированную вертикальную иглу (рис. 403). Если сообщить послѣднюю съ дѣйствующей электрической машиной, то электрическій зарядъ чрезъ острія передается воздуху; остроконечія отталкиваются отъ частицъ одноименно наэлектризованнаго воздуха, и колеско начинаетъ вращаться по направленію, обозначенному на рисункѣ стрѣлками (Франклиново колесо). Въ темнотѣ можно замѣтить на остріяхъ слабое свѣченіе.



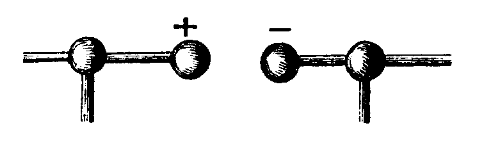
403.

[1] Нѣкоторое понятіе о томъ, какъ могутъ быть измѣрены столь малые промежутки времени, даетъ описанный въ § 327 пріемъ опредѣленія скорости свѣта.

543. Электрическій разрядъ можетъ произойти и совсѣмъ иначе — не сопровождаясь какими-либо видимыми для глаза явленіями. Если напр. сообщимъ кондукторъ машины съ натирателемъ проволокою и будемъ вращать кругъ, то электрическая разность кондуктора и натирателя будетъ быстро выравниваться чрезъ соединяющій ихъ проводникъ. Или, соединивъ кондукторъ посредствомъ влажной нити съ землею и вращая машину (причемъ натиратель, какъ сказано выше, долженъ быть отведенъ къ землѣ), мы вызовемъ длящійся разрядъ вдоль этого полупроводника. Длящійся электрическій разрядъ называется также электрическимъ теченіемъ или электрическимъ токомъ. Его позволительно сравнивать съ теченіемъ или „токомъ“ жидкости по трубѣ между двумя сосудами, въ которыхъ поддерживается нѣкоторая разность уровней; кратковременный электрическій разрядъ соотвѣтствовалъ бы тогда быстрому выравниванію высотъ жидкости въ сосудахъ. Электрическій токъ имѣетъ нѣчто общее и съ токомъ теплоты, направляющимся вдоль бруска, когда на двухъ концахъ существуетъ разность температуръ.

Электрическій разрядъ вдоль нашихъ проводниковъ сопровождается развитіемъ въ нихъ теплоты, появленіе которой здѣсь впрочемъ обнаружить гораздо труднѣе, чѣмъ при кратковременномъ разрядѣ (искрѣ), когда накопившаяся электрическая энергія почти мгновенно преобразовывается въ теплоту. Ниже мы еще встрѣтимся съ тепловыми явленіями длящагося электрическаго разряда.

544. Въ описанной выше электрической машинѣ источникомъ электризаціи является треніе. Существуютъ другія машины, представляющія собою какъ бы усовершенствованный въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ электрофоръ и потому называющіяся электрофорными. Въ описаніе ихъ устройства и способа заряженія мы здѣсь входить не можемъ. При вращеніи круга машины противоположные электрическіе заряды накопляются



404.

на двухъ одинаковыхъ кондукторахъ, снабженныхъ на концахъ шариками, разстояніе которыхъ можно по желанію измѣнять (рис. 404).

Электрофорная машина дѣйствуетъ вообще лучше электрической машины, основанной на треніи; для производства опытовъ она въ нѣкоторыхъ случаяхъ незамѣнима.

Накопляющуюся въ машинѣ электрическую энергію можно наилучшимъ образомъ использовать въ формѣ мгновеннаго разряда двумя способами: 1) давая машинѣ разряжаться чрезъ промежутокъ между кондукторами, причемъ происходитъ выравниваніе (большей части) электрической разности кондукторовъ; 2) отводя одинъ изъ кондукторовъ къ землѣ и поднося къ другому проводникъ (шарикъ на стержнѣ), сообщенный съ землею; теперь разрядъ произойдетъ вслѣдствіе выравниванія электрической разности кондуктора и земли.

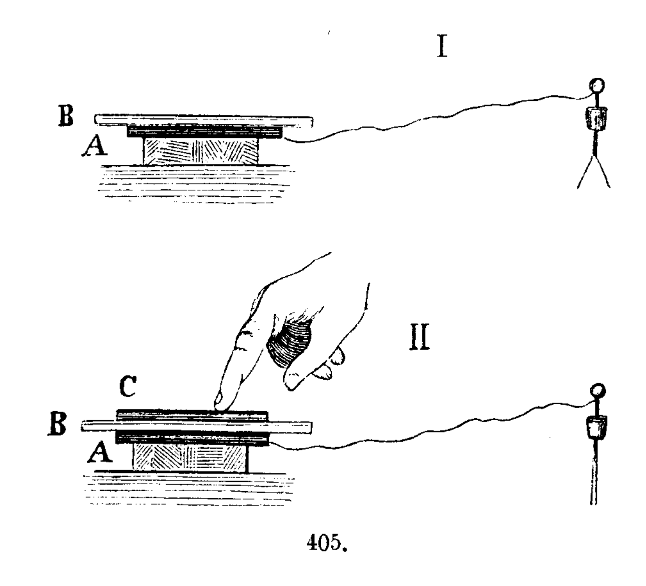
Положимъ, что наибольшая степень электризаціи одного изъ кондукторовъ сравнительно съ окружающими предметами (которые мы предполагаемъ сообщенными съ землею) выражается числомъ + 50, а другого — 50; электрическая разность будетъ = 100 единицамъ. Если мы сообщимъ съ землею напр. отрицательно заряженный кондукторъ, то степень его электризаціи съ—50 повысится до 0. Но опытъ показываетъ, что электрическая разность кондукторовъ отъ этого не измѣняется, т. е. остается равною 100. Слѣдов. степень электризаціи положительнаго кондуктора будетъ на 100 единицъ выше нуля: электрическая разность кондуктора и сообщеннаго съ землею проводника выразится числомъ 100, какъ въ первомъ случаѣ. — Когда хотятъ использовать дѣйствіе машины, чтобы зарядить ею какіе-нибудь изолированные проводники, соединяютъ ихъ проволокою съ однимъ изъ кондукторовъ, а другой отводятъ къ землѣ.

Если сообщить оба кондуктора проволокою или влажною нитью, то при вращеніи круга машины между кондукторами будетъ происходить длящійся электрическій разрядъ, или электрическій токъ.

545. Дѣйствія искрового разряда будутъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше производящая его электрическая разность и чѣмъ большее „количество" электричества принимаетъ въ немъ участіе. Электризуя какой-нибудь проводникъ, мы можемъ собрать на немъ лишь ограниченный запасъ электричества, потому что съ повышеніемъ степени

электризаціи усиливается потеря электричества въ воздухъ и чрезъ изоляторъ въ землю. Но опытъ показываетъ, что если взять два проводника, расположенные какъ можно ближе другъ къ другу и раздѣленные изоляторомъ, то получается аппаратъ, позволяющій накоплять во много разъ бóльшіе запасы электрической энергіи.

Сообщимъ напр. изолированную кускомъ парафина металлическую пластинку A съ электроскопомъ (рис. 405 I), положимъ на нее тонкую стеклянную пластинку B и зарядимъ металлическую пластинку потертымъ стекломъ или



405.

электрофоромъ до нѣкотораго угла расхожденія листочковъ. Послѣ этого положимъ на стекло другую металлическую пластинку C, касаясь къ ней рукою: она будетъ отдѣлена отъ нижней, заряженной пластинки слоемъ изолятора (стекломъ) и, не смотря на это, уголъ расхожденія листочковъ уменьшится (или они совсѣмъ спадутся), какъ будто бы пластинка лишилась части своего заряда (II). Но что это не такъ, легко убѣдиться, убравъ верхнюю пластинку вмѣстѣ со стекломъ: листочки электроскопа разойдутся попрежнему. При вторичномъ наложеніи стекла и пластинки, уголъ расхожденія ихъ снова уменьшится.—Изоляторомъ можетъ служить и тонкій слой воздуха: накла-

дываютъ верхнюю пластинку на нижнюю при посредствѣ трехъ подложенныхъ кусочковъ резиновой трубки.

Въ чемъ здѣсь дѣло? Положительный зарядъ пластинки *A* конечно дѣйствуетъ чрезъ индукцію на пластинку *C*, и на нижней ея сторонѣ появляется разноименный, т. е. отрицательный зарядъ (не забудемъ, что пластинка отведена къ землѣ и что слѣдов. возбуждаемый индукціей положительный зарядъ исчезаетъ). Разноименные заряды обѣихъ пластинокъ взаимно притягиваются, и этимъ можно объяснить себѣ наблюдавшееся нами временное уменьшеніе степени электризаціи.

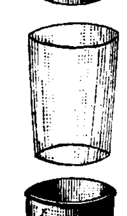
Будемъ теперь продолжать заряженіе нижней пластинки, въ присутствіи верхней (остающейся въ сообщеніи съ землею),—пока электроскопъ не покажетъ, что снова достигнута первоначальная степень электризаціи. Если затѣмъ отнимемъ верхнюю пластинку вмѣстѣ со стекломъ, то листочки электроскопа сильно разойдутся. Такимъ образомъ является простое средство накоплять большіе запасы электрической энергіи при сравнительно малыхъ размѣрахъ проводниковъ. Основанные на этомъ началѣ приборы называются электрическими конденсаторами (слово „конденсировать" означаетъ сгущать, уплотнять).

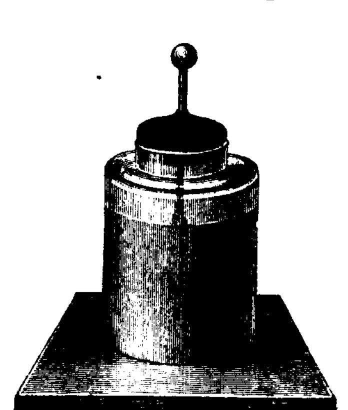
Количество электричества, которое нужно сообщить проводнику, чтобы довести степень его электризаціи (считая отъ нуля) до опредѣленной величины, служитъ мѣрою т. наз. электроемкости проводника [1]. Примѣнивъ это выраженіе къ нашему случаю, мы можемъ сказать, что электроемкость металлической пластинки значительно увеличивается, когда она отдѣлена тонкимъ слоемъ изолятора отъ другой пластинки, соединенной съ землею. Чѣмъ тоньше изолирующій слой, тѣмъ значительнѣе возрастаетъ электроемкость пластинки, потому что усиливается индукціонное дѣйствіе ея заряда на другую пластинку. Матерьялъ промежуточнаго изолятора играетъ при этомъ большую роль: такъ замѣна изолирующаго воздушнаго слоя парафиномъ увеличиваетъ электроемкость пластинки конденсатора приблизительно въ 2 раза, стекломъ въ 5—6 разъ, а слюдою — приблизительно въ 8 разъ. Вотъ гдѣ ясно сказывается важное значеніе изоляторовъ въ передачѣ электрическихъ дѣйствій: увеличеніе электроемкости при замѣнѣ воз-

[1] Подобно тому, какъ мѣрою теплоемкости тѣла служитъ количество теплоты, которое нужно сообщить тѣлу, чтобы повысить его температуру опредѣленнымъ образомъ, именно на 1° (см. выше § 402).

духа парафиномъ, стекломъ и проч. связано именно съ усиленіемъ индукціи чрезъ слой той же самой толщины.

546. Для полученія сильныхъ электрическихъ дѣйствій, конденсатору придаютъ особый видъ, въ которомъ онъ называется лейденской банкой (рис. 406). Банка изъ тонкаго и ровнаго стекла обклеивается снаружи и внутри оловянною фольгою (листовымъ оловомъ), примѣрно до 3/4 ея высоты, и закрывается крышкой (пробкой), которая служитъ для укрѣпленія толстой проволоки, сообщающейся съ внутренней металлической обкладкой; свободный (верхній) конецъ проволоки загибается кольцомъ (безъ выдающихся острыхъ концовъ) или—лучше — снабжается гладкимъ металлическимъ шарикомъ. На рис. 407 изображена т. наз. разборная лейденская банка, гдѣ составныя части видны яснѣе. Лейденскую банку заряжаютъ, сообщивъ внутреннюю обкладку (т. е. шарикъ) съ кондукторомъ электрической машины, а внѣшнюю — съ землею, напр. держатъ банку въ рукѣ. Можно также прямо соединить обкладки съ двумя частями машины, дающими разноименные заряды. Если во время зарядки сообщить внутреннюю обкладку, т. е. шарикъ (помощью длинной тонкой проволоки), съ электроскопомъ, то можно видѣть, что показаніе послѣдняго лишь медленно возрастаетъ при вращеніи машины. Чтобы использовать накопленный банкою запасъ—разрядить ее—надо дать возможность выравняться электрической разности обкладокъ. Для этого напр. одинъ конецъ проволоки прикладываютъ къ внѣшней обкладкѣ, а другой приближаютъ къ шарику [1].


407.


406.

[1] Если сперва прикоснуться къ шарику, т. е. къ внутренней обкладкѣ, то при извѣстныхъ обстоятельствахъ (если именно банка не поставлена на изоляторъ) могутъ произойти явленія, ослабляющія разрядъ; но въ эти подробности мы здѣсь входить не можемъ.

Въ моментъ разряда произойдетъ перемѣщеніе значительнаго количества электричества. Мгновенный разрядъ большой лейденской банки можетъ производить очень сильныя дѣйствія. Ихъ еще усиливаютъ, соединяя нѣсколько банокъ въ такъ называемую батарею.

547. Поименованныя выше явленія мгновеннаго электрическаго разряда — развитіе теплоты, появленіе свѣта и звука, дѣйствіе на организмъ—могутъ быть при помощи лейденской банки или батареи повторены въ еще болѣе блестящемъ видѣ. Чтобы разрядить лейденскую банку чрезъ самого себя, стóитъ только, держа заряженную банку въ одной рукѣ, приблизить другую къ шарику. Можно произвести разрядъ и чрезъ „цѣпь" изъ нѣсколькихъ человѣкъ, взявшихся руками: стоящій съ одного конца беретъ заряженную лейденскую банку въ руку, и другой крайній касается ея шарика.

Чрезвычайно простая форма лейденской банки получается, если въ склянку насыпать до $^3/_4$ дроби (или даже налить воды), вставить въ нее гвоздь и охватить склянку снаружи рукою (рис. 408). Приблизивъ шляпку къ кондуктору электрической машины, заряжаютъ банку, а потомъ разряжаютъ чрезъ себя, прикасаясь другой рукою къ гвоздю.


408.

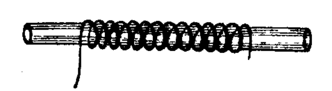
Имѣя лейденскую банку и электрофоръ, который служитъ для ея зарядки (оба прибора очень легко изготовляются самодѣльно), можно, какъ видно изъ предыдущаго, произвести множество любопытнѣйшихъ опытовъ.

548. Изъ другихъ явленій разряда, которыя, благодаря именно бóльшимъ запасамъ электрической энергіи, гораздо лучше наблюдаются съ лейденской банкой или батареей, чѣмъ съ электрической машиной, опишемъ еще слѣдующія.

Разрядъ лейденской банки сквозь бумагу или папку оставляетъ въ нихъ отверстія—какъ бы проколы иглою. Разрядъ батареи изъ нѣсколькихъ банокъ легко пробиваетъ цѣлую тетрадь, разрывая въ клочья края отверстія. Достаточно сильный разрядъ можетъ разщепить доску или пробить толстый кусокъ стекла. Этого рода дѣйствія, состоящія въ разъединеніи или перемѣщеніи частей тѣла, можно назвать общимъ именемъ механическихъ дѣйствій разряда.

549. Наконецъ электрическая батарея даетъ возможность обнаружить еще химическія и магнитныя дѣйствія разряда. Если пропустить электрическій разрядъ чрезъ воду, то на концахъ погруженныхъ въ нее проводниковъ появляются газовые пузырьки, состоящіе изъ водорода и кислорода. Кислородъ выдѣляется на томъ проводникѣ, который сообщенъ съ положительно заряженною обкладкою батареи, а водородъ—съ отрицательной. Но этимъ путемъ трудно получить сколько-нибудь значительныя количества газовъ.

Чтобы обнаружить магнитныя дѣйствія разряда, поступаютъ слѣдующимъ образомъ. Кусокъ стальной вязальной спицы кладутъ въ стеклянную трубку (рис. 409), которая обмотана спирально многими оборотами мѣдной проволоки (отдѣльные обороты проволоки не должны касаться другъ друга; лучше брать проволоку съ изолирующей обмоткою). Чрезъ проволоку пропускаютъ нѣсколько разрядовъ электрической батареи или большой лейденской банки. Послѣ этого спица оказывается намагниченной.


409.

Итакъ электрическія явленія тѣсно связаны не только съ тепловыми и механическими, но также съ химическими и магнитными. Мы видимъ, какъ легко электрическая энергія преобразовывается въ другіе виды энергіи.

Объ атмосферномъ электричествѣ и о молніи.

550. Если мы сравнимъ дѣйствія мгновеннаго электрическаго разряда съ дѣйствіями молніи, то найдемъ между тѣми и другими поразительное сходство. Искра электрической машины или лейденской банки воспроизводитъ въ сильно уменьшенномъ видѣ всѣ дѣйствія молніи. Отсюда конечно и слѣдуетъ, что молнія—большая электрическая искра. „Громъ" же есть

трескъ этой искры. Длительность звука отчасти объясняется уже тѣмъ, что вслѣдствіе значительной длины молніи (нерѣдко въ нѣсколько верстъ) звукъ не одновременно достигаетъ до насъ отъ различныхъ ея точекъ; сюда присоединяются и другія обстоятельства, между прочимъ многократное отраженіе звука отъ облаковъ и отъ земныхъ предметовъ.

Наблюденія показываютъ, что земная атмосфера всегда болѣе или менѣе наэлектризована [1]. Электрическія разности въ атмосферѣ могутъ быть весьма значительны даже въ самую ясную погоду. Но такъ какъ воздухъ очень дурной проводникъ электричества, то выравниваніе электрическихъ разностей можетъ происходить въ немъ лишь чрезвычайно медленно. Если же запустить змѣй на проволокѣ, нижній конецъ которой изолированъ, то проволока наэлектризовывается настолько, что можетъ дать искры при поднесеніи проводника, сообщеннаго съ землею. Не рѣдкость, что на высотѣ одной версты электрическая разность атмосферы и земли такова же, какъ на кондукторахъ электрофорной машины при длинѣ искры въ нѣсколько сантиметровъ. При запусканіи змѣя на большія высоты возможны случаи расплавленія проволоки электрическимъ разрядомъ атмосферы даже въ отсутствіи грозовыхъ тучъ.

Когда электрическія разности въ атмосферѣ (по причинамъ, еще не достаточно выясненнымъ) достигаютъ очень большой величины, тогда электрическіе разряды въ видѣ искръ прорываются сквозь воздухъ: происходитъ гроза.

551. Явленіе грозы, возбуждая страхъ и вмѣстѣ съ тѣмъ привлекая насъ своимъ величіемъ, заслуживало бы болѣе подробнаго разсмотрѣнія; въ особенности любопытны подробности, касающіяся различныхъ видовъ молніи и ея замѣчательныхъ дѣйствій. Мы скажемъ здѣсь нѣсколько словъ лишь о защитѣ зданій отъ ударовъ молніи посредствомъ громоотвода. Способы защиты основываются на томъ, что электрическія разности всего легче выравниваются по хорошимъ проводникамъ (металламъ). Поэтому, если зданіе

[1] Если шарикъ электроскопа замѣнить остріемъ (о роли острія см. § 525) и поднять приборъ на нѣкоторую высоту, сообщивъ его оправу съ землею (объ этомъ см. § 532), то листочки расходятся, и уголъ ихъ расхожденія обыкновенно увеличивается по мѣрѣ поднятія.

снабжено выдающимся надъ крышею желѣзнымъ шестомъ, который сообщается сплошнымъ желѣзнымъ проводникомъ съ землею, то въ случаѣ удара молніи въ шестъ электрическій разрядъ направляется по проводнику, не причиняя такимъ образомъ вреда зданію. Слѣдовательно мы имѣемъ здѣсь дѣло собственно съ „отводомъ молніи“, и названіе громоотвода не соотвѣтствуетъ дѣйствительности (по нѣмецки онъ называется Blitzableiter, т. е. именно „молніеотводъ“). — Кромѣ того, выдающійся надъ зданіемъ желѣзный шестъ, сверху заостренный, до нѣкоторой степени способствуетъ выравниванію электрической разности атмосферы и земли еще до молніи, такъ что можетъ повести къ ослабленію самой молніи. — Надо впрочемъ замѣтить, что снабженіе зданія громоотводами обезпечиваетъ его безопасность только при соблюденіи извѣстныхъ условій, указываемыхъ техникой дѣла; въ противномъ случаѣ громоотводъ не достигаетъ цѣли и даже можетъ причинить вредъ.

На примѣрѣ громовода мы встрѣчаемъ одинъ изъ многихъ случаевъ непосредственнаго примѣненія научныхъ знаній въ практической жизни, къ борьбѣ съ вредоносными проявленіями энергіи природы. Дальнѣйшему изученію молніи конечно можетъ еще немало содѣйствовать моментальная фотографія (см. выше § 381).

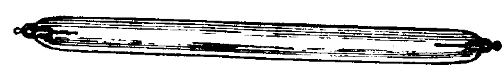
Что касается опасности пострадать самому отъ удара молніи, то она вообще сильно преувеличена, и ходячія предосторожности (какъ напр. закрываніе оконъ и форточекъ во время грозы) объясняются лишь слѣпымъ страхомъ передъ этимъ мощнымъ проявленіемъ электрической энергіи, но большею частью не имѣютъ серьезныхъ основаній [1].

[1] Энергія одного удара молніи обыкновенной длины (около 1 километра) оцѣнивается примѣрно въ $2^1/_2$ милліарда килограмметровъ, т. е. она равнозначна работѣ поднятія 25000 тоннъ (такого вѣса едва ли достигаютъ самые большіе океанскіе пароходы) на 100 метровъ. Такъ какъ во время грозы часто наблюдается до тысячи молній, то можно составить себѣ понятіе о громадныхъ запасахъ энергіи, приносимыхъ грозою.

Надо замѣтить, что область электрическихъ явленій далеко не ограничивается земной атмосферою и земными предметами. Есть напр. всѣ основа-

Объ электрическомъ разрядѣ въ разрѣженныхъ газахъ. Рёнтгеновы лучи.

552. Ко множеству важныхъ результатовъ привело изученіе электрическаго разряда въ разрѣженныхъ газахъ. Если пропускать разрядъ чрезъ трубку, изъ которой выкачивается воздухъ, то внѣшность явленія мало-по-малу совершенно измѣняется: вмѣсто рѣзко-очерченной искры съ ея характернымъ трескомъ, сперва получается лиловаго цвѣта безшумная все расширяющаяся полоса (лента) и наконецъ, когда давленіе уменьшится до нѣсколькихъ миллиметровъ ртутнаго столба, вся внутренность трубки свѣтится лиловымъ слоисто-перемежающимся свѣтомъ (напоминающимъ явленіе полярныхъ сіяній). Одна изъ трубокъ съ разрѣженнымъ воздухомъ для подобныхъ наблюденій представлена на рис. 410; она снабжена впаянными у концовъ проволочками для присоединенія напр. къ кондукторамъ электрофорной машины. Изготовляются также трубки, наполненныя различными газами при давленіи въ нѣсколько миллиметровъ. Каждый газъ подъ дѣйствіемъ электрическаго разряда свѣтится въ трубкѣ своимъ собственнымъ свѣтомъ и даетъ при этомъ линейчатый спектръ (§ 337), отличающій его отъ всякаго другого газа [1].



410.

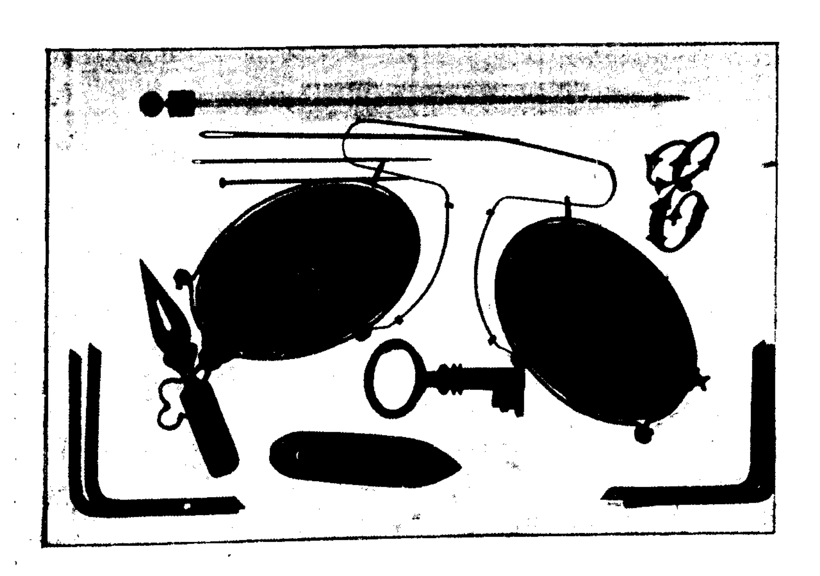
553. Въ случаѣ электрическаго разряда чрезъ газъ при все меньшихъ и меньшихъ давленіяхъ, внутренность трубки наконецъ почти перестаетъ свѣтиться; взамѣнъ этого нѣкоторыя части стекла начинаютъ испускать красивый зеленый свѣтъ. Для наблюденія явленій при чрезвычайно малыхъ давленіяхъ обыкновенно служатъ особые стеклянные приборы, устройство которыхъ сложнѣе, чѣмъ описанныхъ выше трубокъ; давленіе газа въ нихъ измѣряется лишь тысячными долями миллиметра, или милліонными долями атмосферы (родъ газа здѣсь не имѣетъ значенія, такъ какъ самый газъ при этомъ почти не свѣтится). Особый видъ этихъ приборовъ назначается для полученія такъ называемыхъ Рёнтгеновыхъ лучей.

Эти замѣчательные лучи распространяются отъ извѣстныхъ частей прибора наружу—на бо́льшее или меньшее разстояніе, смотря по условіямъ. Покрывъ приборъ непрозрачной темной матеріей, можно совсѣмъ скрыть его отъ глаза. И тогда почти въ полной темнотѣ вблизи прибора наблюдается рядъ любопытнѣйшихъ явленій: экранъ, покрытый нѣкоторыми флуоресцирующими веществами (см. § 382), начинаетъ свѣтиться, свѣточувствительный слой фотографической пластинки—выдѣлять серебро. Различныя тѣла въ очень различной степени задерживаютъ распространеніе Рёнтгеновыхъ лучей; вообще же эти лучи отличаются чрезвычайно большой проницающей способностью и легко проходятъ чрезъ такія тѣла, которыя очень мало прозрачны для видимыхъ лучей, напр. сквозь папку, дерево, кожу, вообще сквозь ткани животнаго организма, а также сквозь нѣкоторые металлы, напр. алюминій; менѣе проницаемы обыкновенное стекло, графитъ, кость; тяжелые металлы, напр. свинецъ, очень мало проницаемы для Рёнтгеновыхъ лучей.

нія думать, что электрическія явленія играютъ немаловажную роль въ дѣятельности солнца. Конечно они совершаются и на другихъ планетахъ, кромѣ земли.

[1] Надо замѣтить, что хотя разрѣженный газъ отъ дѣйствія разрядовъ нагрѣвается, но не настолько, чтобы свѣченіе можно было приписать его накаливанію. Мы здѣсь опять встрѣчаемся съ однимъ изъ многихъ примѣровъ свѣченія безъ накаливанія.

Если на пути Рёнтгеновыхъ лучей, передъ флуоресцирующимъ экраномъ, держать разные предметы, то на экранѣ получаются тѣневыя изображенія тѣхъ изъ нихъ, которыя менѣе проницаемы для лучей, потому что соотвѣтствующія имъ мѣста экрана не будутъ флуоресцировать или будутъ свѣтиться слабѣе. Такъ



411.

какъ Рёнтгеновы лучи дѣйствуютъ на фотографическую пластинку, то подобныя изображенія можно и фотографировать.—Рис. 411 даетъ нѣкоторое понятіе о различной проницаемости тѣлъ для Рёнтгеновыхъ лучей. Онъ представляетъ фотографическій снимокъ, полученный при проходѣ лучей сквозь кожаный бумажникъ: все содержимое его становится тогда видимымъ. Ме-

таллическіе предметы (оправа бумажника, перо, ключикъ, иголки, вензель и пр.), а также стекла пенснэ [1], какъ мало проницаемые, дали на снимкѣ черныя тѣневыя изображенія; изображеніе менѣе темное получилось отъ графитовой сердцевины карандаша, тогда какъ очертанія деревянной его части, гораздо болѣе проницаемой, едва замѣтны. – Въ особенности замѣчательна возможность полученія такимъ путемъ изображеній внутреннихъ частей живого организма, такъ какъ онѣ въ различной степени проницаемы для Рёнтгеновыхъ лучей. На рис. 412 можно видѣть фотографическій снимокъ руки (съ надѣтымъ на палецъ кольцомъ), на которомъ хорошо замѣтны отдѣльныя кости скелета и промежутки, соотвѣтствующіе сочлененіямъ; мышцы (мясо) даютъ слабыя очертанія.—Большое и все расширяющееся поле примѣненій нашли эти пріемы въ хирургіи и медицинѣ—для изслѣдованія внутреннихъ частей живого человѣческаго организма [2].



412.

Электрическій разрядъ и работа.

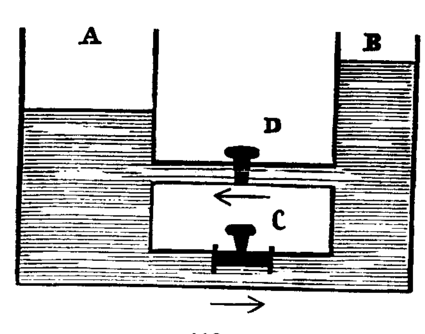
554. Теперь представляется вопросъ: что служитъ источникомъ разнообразныхъ дѣйствій электрическаго разряда, будь то явленіе искры электрической машины или разрушительныя дѣйствія молніи? Несомнѣнно, что мы имѣемъ дѣло съ проявленіями нѣкоторой энергіи, и спрашивается, на счетъ какой затраты берется эта энергія? Мы знаемъ, что электрическій разрядъ происходитъ благодаря нѣкоторой электрической

[1] Надо замѣтить, что обыкновенное стекло довольно прозрачно для Рёнтгеновыхъ лучей.

[2] Для многихъ опытовъ съ Рёнтгеновыми лучами достаточно разрядовъ отъ хорошей электрофорной машины (о которой упомянуто въ § 544). Но въ болѣе эффектномъ видѣ они производятся съ помощью такъ называемой Румкорфовой спирали, которая будетъ описана ниже въ § 600.

разности на проводникахъ. Но самое возникновеніе электрической разности не сопровождается-ли расходованіемъ энергіи въ какой-либо формѣ? Для уясненія дѣла обратимся снова къ тому сравненію, къ которому мы уже прибѣгали въ § 535.

Чтобы вода, содержащаяся въ двухъ сообщенныхъ между собою водоемахъ, могла передвигаться и производить какія-нибудь механическія дѣйствія, уровень ея въ водоемахъ долженъ быть неодинаковъ. Но произвести разность уровней можно не иначе, какъ затративъ нѣкоторую работу. Если напр. мы перельемъ черпакомъ часть воды изъ сосуда A въ сосудъ B (рис. 413), то повысимъ уровень воды въ B и понизимъ въ A; но для этого мы должны были поднять нѣкоторое количество воды, т. е. произвести работу противъ силы тяжести. Представимъ себѣ—что для нашей цѣли удобнѣе—между водоемами насосъ C, которымъ можно накачивать воду изъ A въ B. Если, затративъ работу, мы произведемъ насосомъ въ водоемахъ разность уровней, то явится перевѣсъ давленія со стороны жидкости съ высшимъ уровнемъ: сама жидкость способна будетъ произвести работу. Открывъ кранъ D, дадимъ жидкости перетекать изъ B въ A: на своемъ пути она будетъ преодолѣвать тѣ или иныя сопротивленія (напр. вращая мельничное колесо), слѣдовательно совершать работу. Итакъ, благодаря разности уровней, жидкость въ этихъ условіяхъ пріобрѣтаетъ нѣкоторую работоспособность, нѣкоторую энергію, которой она дотолѣ не имѣла.



413.

555. Нѣчто сходное мы встрѣчаемъ и въ области электрическихъ явленій. Электрической разностью обусловленъ нѣкоторый запасъ энергіи, который и тратится въ моментъ электрическаго разряда. Что самое электризованіе требуетъ расходованія энергіи—это въ нѣкоторыхъ случаяхъ легко обнаружить.

Обратимся сперва къ дѣйствію электрофора. Пусть

крышка была наложена на заряженную гуттаперчевую пластину и (прикосновеніемъ руки) сообщена на мгновеніе съ землею. Послѣ этого ни новое прикосновеніе руки, ни сообщеніе съ электроскопомъ не обнаруживаютъ на ней какихъ либо признаковъ электризаціи. Поднявъ крышку, мы однако получаемъ изъ нея искру: гдѣ источникъ пріобрѣтенной крышкою электрической энергіи? Обратимъ вниманіе на то, что, отнимая крышку отъ пластины, мы совершали работу нетолько противъ вѣса крышки: мы затратили еще добавочную энергію на преодолѣніе какого-то взаимнаго дѣйствія между пластиной и крышкой, которое называютъ „электрическимъ притяженіемъ“ [1]. Эта энергія и является въ преобразованномъ видѣ источникомъ тѣхъ новыхъ дѣйствій, которыя мы наблюдаемъ, „разряжая“ затѣмъ крышку электрофора. Если поднимать крышку, не зарядивъ пластины электрофора или не коснувшись наложенной крышки рукою, то этой особенной работы не затрачивается, и никакихъ новыхъ явленій мы не получаемъ.

Пожалуй еще нагляднѣе наблюдается затрата энергіи на электризованіе въ случаѣ электрофорной машины (см. § 544). Вращать машину замѣтно труднѣе, когда она дѣйствуетъ исправно, чѣмъ тогда, когда ея электризація разстроена (это можно сдѣлать, не портя машины, перестановкою нѣкоторыхъ ея частей), и когда слѣдовательно совершаемая нами работа идетъ на преодолѣніе лишь обычныхъ сопротивленій.—Если сблизить оба кондуктора до тѣснаго соприкосновенія, то вся работа, затрачиваемая на электризацію при вращеніи круга, преобразовывается въ теплоту безъ посредства того явленія, которое называютъ электрической искрой; но это остается скрытымъ отъ насъ, потому что толстые проводники машины не нагрѣваются сколько-нибудь замѣтнымъ образомъ.

556. Если электрическую разность поддерживать по мѣрѣ разряда, то произойдетъ длящійся электрическій разрядъ, называемый также электрическимъ токомъ (см. § 543). Для этого все время надо будетъ затрачивать работу. Въ нашемъ пояснительномъ аппаратѣ (см. выше рис. 413) разность уровней воды, текущей изъ B въ A (по трубкѣ D), должна быть поддерживаема работою насоса C. Электрическая же разность сообщенныхъ между собою проводниковъ можетъ быть поддерживаема напр. насчетъ вышеупомянутой особой работы, затрачиваемой при вращеніи круга электрофорной машины.

[1] Его можно сдѣлать нагляднымъ и даже выразить въ вѣсовыхъ единицахъ, подвѣсивъ крышку электрофора къ чашкѣ вѣсовъ и опредѣливъ, какой грузъ надо положить на другую чашку, чтобы оторвать крышку отъ заряженной пластины.

Дальше мы встрѣтимся еще съ совсѣмъ инымъ способомъ преобразованія работы или механической энергіи въ энергію электрическаго тока.

Электрическая энергія легко превращается въ разныя другія формы энергіи и наоборотъ—можетъ быть получаема насчетъ другихъ ея видовъ. Продолжительное и настойчивое изученіе привело къ тому, что нынѣ все бóльшіе и бóльшіе запасы энергіи на землѣ удобно преобразовываются въ электрическій токъ для цѣлей практической жизни. Три ближайшія главы будутъ именно посвящены электрическому току: способамъ его полученія, его дѣйствіямъ и важнѣйшимъ практическимъ приложеніямъ.

XXXI.

Объ электрическомъ токѣ.

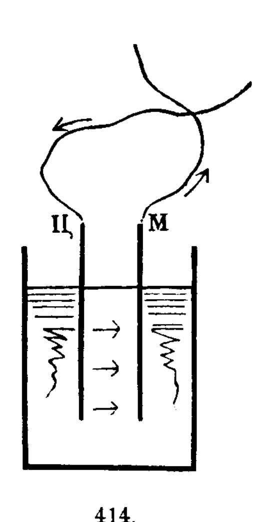
Полученіе электрическаго тока при помощи гальваническихъ элементовъ.

557. Изъ разнообразныхъ пріемовъ полученія электрическаго тока для первоначальнаго ознакомленія съ его явленіями удобнѣе всего одинъ, въ которомъ возникновеніе тока какимъ-то образомъ связано съ химическимъ взаимодѣйствіемъ тѣлъ.

При химическомъ взаимодѣйствіи цинка и разведенной сѣрной кислоты выдѣляется водородъ и образуется цинковый купоросъ (§§ 170 и 188). Этимъ химическимъ взаимодѣйствіемъ можно воспользоваться для

полученія электрическаго тока: нужно лишь выполнить нѣкоторыя условія, найденныя опытомъ.

Опустимъ въ сосудъ (стаканъ) съ разведенной сѣрной кислотой цинковую пластинку *Ц* (рис. 414) и еще другую пластинку изъ хорошо проводящаго матерьяла, выбранную такъ, чтобы она совсѣмъ или почти совсѣмъ не подвергалась химическому дѣйствію кислоты, напр. пластинку изъ кокса или мѣди: послѣднее именно и предполагается на рисункѣ. Мѣдныя проволоки, прикрѣпленныя къ цинковой и мѣдной пластинкамъ, оказываются тогда наэлектризованными: первая отрицательно, вторая положительно. Однако возникающая здѣсь электрическая разность настолько мала, что не можетъ быть замѣчена описанными выше простыми пріемами (но хорошо обнаруживается нѣкоторыми болѣе чувствительными приспособленіями).



414.

Если мы приведемъ въ соприкосновеніе концы идущихъ отъ мѣди и цинка проволокъ (см. рисунокъ), то явится путь, вдоль котораго можетъ выравниваться ихъ электрическая разность. Но послѣдняя, разъ возникнувъ, снова и снова возобновляется. При такихъ условіяхъ по мѣдной проволокѣ происходитъ непрерывный электрическій разрядъ, электрическій токъ, который длится до тѣхъ поръ, пока происходитъ химическое взаимодѣйствіе.

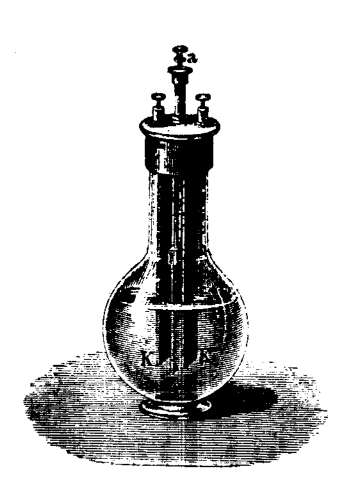
Обратимся къ сравненію, которымъ мы уже не разъ пользовались выше,—сравненію движущагося электричества съ текущею жидкостью. Положимъ, что въ сосудахъ *В* и *А* существуетъ разность уровней (рис. 413) и что, открывъ кранъ *D*, даютъ жидкости перетекать. Въ то-же время пусть постоянная работа насоса *С* поддерживаетъ разность уровней въ сосудахъ. Тогда произойдетъ непрерывное круговое теченіе жидкости, какъ показываютъ стрѣлки на рисункѣ. Работѣ насоса соотвѣтствуетъ въ нашемъ приборѣ (рис. 414) нѣкоторая внутренняя работа, совершающаяся при химическомъ взаимодѣйствіи цинка и сѣрной кислоты.

Этотъ приборъ, т. е. сосудъ съ кислотою, въ которую погружены пластинки цинковая и мѣдная съ прикрѣпленными къ нимъ мѣдными концами, называется простымъ гальваническимъ элементомъ, а производимый имъ токъ обыкновенно называютъ гальваническимъ [1]. Мѣдные концы, припаянные къ пластинкамъ, суть такъ называемые полюсы или электроды элемента: со стороны мѣдной пластинки—положительный, а цинковой—отрицательный. Сообщить между собою полюсы тѣломъ, по которому можетъ происходить движеніе электричества, значитъ замкнуть гальваническій элементъ, замкнуть цѣпь. Такъ какъ электрическое теченіе происходитъ отъ высшей степени электризаціи къ низшей, то направленіе тока въ замыкающемъ проводникѣ соотвѣтствуетъ направленію отъ мѣди къ цинку; этимъ указывается направленіе кругового тока и во всей цѣпи (см. стрѣлки на рис. 414).

558. При производствѣ опытовъ пользуются болѣе сложнаго устройства гальваническими элементами, разнообразіе которыхъ очень велико. Различныя усложненія имѣютъ цѣлью усилить и сдѣлать болѣе постояннымъ ихъ дѣйствіе. Цинкъ и химически-взаимодѣйствующая съ нимъ жидкость—почти неизмѣнныя составныя ихъ части; другой же твердый проводникъ (часто погружаемый въ другую жидкость, отдѣленную отъ первой) обыкновенно бываетъ изъ мѣди, кокса или платины. Мы опишемъ лишь устройство гальваническаго элемента, которымъ чаще всего пользуются для кратковременныхъ опытовъ, знакомящихъ съ основными явленіями электрическаго тока. Это такъ называемый бутылочный элементъ съ хромовою жидкостью, или элементъ Грене́ (рис. 415). Онъ имѣетъ видъ бутылки или графина и закрывается

[1] Названія „гальваническій“, „гальванизмъ“ произошли отъ имени итальянскаго ученаго Гальвани; говорятъ и „вольтаическій“, „вольтаизмъ“ — отъ имени итальянскаго физика Вольты (Volta). Однако нынѣ, когда давно уже извѣстны еще и другіе способы производства тока, предпочтительно пользуются болѣе общимъ выраженіемъ „электрическій токъ“, сохранивъ названіе „гальваническаго“ или „вольтаическаго“ лишь въ нѣкоторыхъ частныхъ случаяхъ.

крышкой, поддерживающей пластинки изъ цинка (Z) и кокса (K); послѣднихъ обыкновенно двѣ: онѣ сообщены между собою и имѣютъ одинъ общій мѣдный конецъ (винтовой зажимъ) для присоединенія проводной проволоки. Жидкость состоитъ изъ разведенной сѣрной кислоты, къ которой прибавлена еще другая кислота, называется „хромовой“ (отсюда буро-красный цвѣтъ жидкости). Главныя удобства элемента въ томъ, что во-1) цинковую пластинку можно по окончаніи опыта тотчасъ поднять за стержень, на которомъ она подвѣшена (верхушка стержня помѣчена на рисункѣ буквою a), такъ что цинкъ и кислота расходуются только по мѣрѣ надобности, во-2) крышка замедляетъ испареніе воды изъ жидкости и защищаетъ ее отъ пыли. Для присоединенія проволокъ имѣются два мѣдныхъ зажимныхъ винта: одинъ сообщается съ цинкомъ и представляетъ отрицательный полюсъ элемента, другой—съ углемъ и служитъ положительнымъ полюсомъ. Многіе простые опыты удаются уже съ однимъ хорошо снаряженнымъ элементомъ Грене́.



415.

Для усиленія дѣйствія соединяютъ нѣсколько элементовъ въ такъ называемую гальваническую батарею. Если напр. взять три элемента Грене́ и сообщить мѣдными проволоками положительный полюсъ перваго съ отрицательнымъ полюсомъ второго, положительный полюсъ второго съ отрицательнымъ третьяго и т. д., то электрическая разность на крайнихъ полюсахъ (+и—) батареи будетъ втрое больше, чѣмъ у одного элемента.

Въ телеграфномъ дѣлѣ, для электрическихъ звонковъ и пр. употребляются элементы иного устройства.

Электрическая разность на полюсахъ гальваническаго элемента, какъ уже было упомянуто, очень мала — гораздо меньше той, которая появляется напр. при треніи смолы о шерсть и т. п. Но непрерывный химическій процессъ, совершающійся внутри элемента, производитъ то, что по всей цѣпи перемѣщается въ единицу времени сравнительно большое количество электричества. Такимъ образомъ, хотя обнаруженіе самой электрической разности требуетъ болѣе сложныхъ приспособленій, чѣмъ обыкновенные электроскопы,—наблюдать нѣкоторыя дѣйствія электрическаго тока не представляетъ какихъ-либо трудностей.

Надо замѣтить, что хотя взаимная зависимость дѣйствій или явленій электрическаго тока превосходно изучена съ качественной и количественной стороны, самый процессъ, который называютъ „электрическимъ токомъ“, представляетъ еще много темнаго. Несомнѣнно, что токъ—одинъ изъ видовъ энергіи, притомъ энергіи какого-то движенія. Но нельзя еще сказать съ увѣренностью, гдѣ и какъ происходитъ это движеніе: въ самыхъ проводникахъ, составляющихъ цѣпь, или въ окружающей ихъ эфирной средѣ, причемъ проводники лишь извѣстнымъ образомъ „направляютъ“ это движеніе. То представленіе объ „электрическомъ токѣ“, котораго мы по необходимости придерживаемся въ нашемъ элеметарномъ изложеніи, должно быть разсматриваемо только какъ удобное средство объединить, основываясь на нѣкоторыхъ аналогіяхъ, рядъ фактовъ, которые иначе оставались бы для насъ безсвязными, и такимъ образомъ положить начало усвоенію самыхъ фактовъ.

Тепловыя дѣйствія электрическаго тока.

559. Въ проводникѣ, по которому проходитъ электрическій токъ, всегда появляется теплота. Чтобы наблюдать тепловыя явленія съ помощью одного или двухъ гальваническихъ элементовъ (Гренѐ) поступаютъ слѣдующимъ образомъ.

1) Прикрѣпляютъ къ тонкой проволокѣ воскомъ бумажку: при прохожденіи тока воскъ плавится, и бумажка отпадаетъ.

2) Достаточно тонкая желѣзная проволока нагрѣвается настолько, что объ нее можно зажечь спичку.

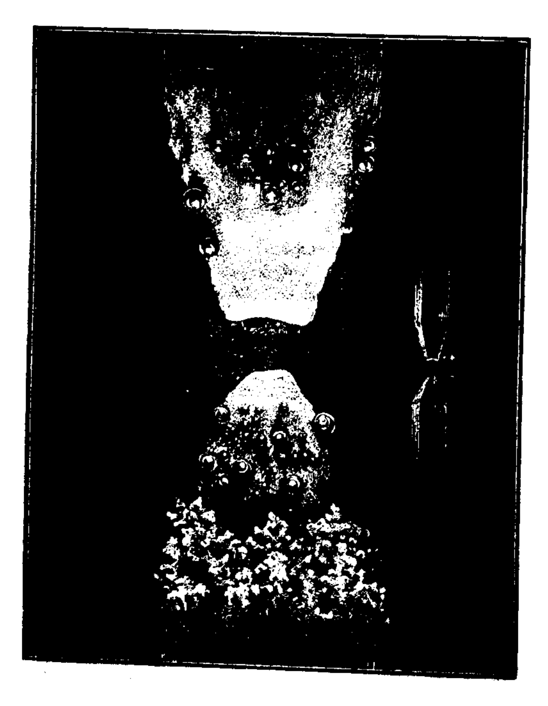
3) Очень тонкая короткая желѣзная или платиновая проволочка можетъ накалиться до-бѣла и расплавиться, а желѣзная—перегорѣть [1].

4) Если концы мѣдныхъ проволокъ, идущихъ отъ полю-

[1] Весьма удобны для опытовъ съ элементами довольно обычныя нынѣ маленькія „калильныя лампочки“, состоящія изъ стекляннаго пузырька со впаянными въ ней проволоками, между концами которыхъ помѣщена тоненькая платиновая.

совъ, прикладывать другъ къ другу и разъединять, то между ними появляются искорки. Эти искорки состоятъ изъ мельчайшихъ раскаливающихся частичекъ металла, которыя отрываются отъ концовъ проволоки.—Приложимъ конецъ одной изъ проволокъ къ стальному напилку, а концомъ другой будемъ водить по насѣчкѣ: теперь отрывающихся металлическихъ частичекъ будетъ больше, и искры посыплются въ изобиліи.

560. Чрезвычайно яркая искра получается между заостренными концами двухъ углей, сближенныхъ до соприкосновенія. Если токъ достаточно силенъ (для этого нужна



416.

уже довольно значительная гальваническая батарея), то угли послѣ сближенія можно нѣсколько раздвинуть, и токъ не прекращается. Промежутокъ между углями остается сильно раскаленнымъ, а самые концы углей издаютъ ослѣпительный свѣтъ. Въ этомъ промежуткѣ, состоящемъ изъ раскаленныхъ газовъ воздуха и угольныхъ частичекъ, замѣчается нѣчто

вродѣ пламени дугообразной формы: отсюда самое явленіе получило названіе электрической или вольтовой дуги. (Употребляющійся для ея полученія уголь не есть обыкновенный печной, а болѣе плотный сортъ угля, приготовляемый прессовкою изъ кокса; онъ гораздо лучше проводитъ электрическій токъ) [1].

Такимъ путемъ достигается чрезвычайно высокая температура, при которой желѣзо и сталь быстро сгораютъ, а платина—одинъ изъ самыхъ трудноплавкихъ металловъ—таетъ какъ воскъ въ пламени свѣчи. Если произвести вольтову дугу между концами угля и вязальной спицы, то можно получить очень эффектное сгораніе стали. Пластинка изъ стали или желѣза протыкается раскаленнымъ углемъ вольтовой дуги съ такою же легкостью, какъ стеариновая свѣча горячимъ гвоздемъ. Продѣлывать отверстія удается этимъ путемъ даже подъ водою.

Въ жару вольтовой дуги нетолько легко плавятся, но превращаются въ паръ самыя огнеупорныя тѣла. Едва-ли найдется тѣло, которое не испарялось бы въ „электрической печи"—самой жаркой печи, какую такимъ образомъ удается осуществить; матерьялъ, изъ котораго дѣлается печь (известь), не выдержалъ бы жара при сколько-нибудь продолжительномъ нагрѣваніи. Температура внутри электрической печи можетъ достигать 3500° Ц. и даже выше.

Припомнивъ то, что сказано раньше о тепловыхъ явленіяхъ мгновеннаго электрическаго разряда (электрической искры), мы видимъ, что здѣсь явленія повторяются—конечно съ особенностями, зависящими отъ гораздо бо́льшей продолжительности тока.

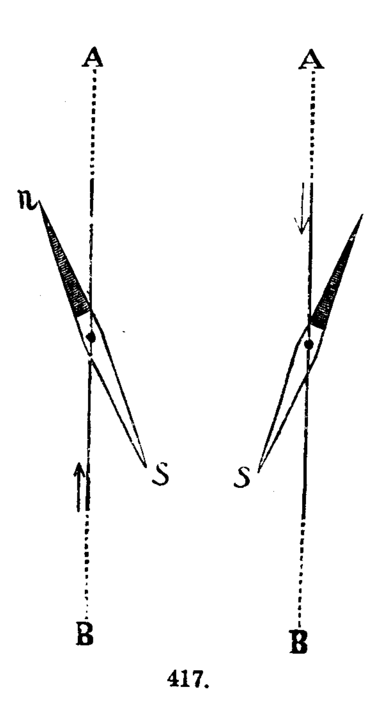
Тепловыя дѣйствія тока (накаливаніе тонкихъ проводниковъ и вольтова дуга) находятъ важное примѣненіе въ электрическомъ освѣщеніи. Напр. въ очень распространенныхъ нынѣ электрическихъ лампочкахъ сильно накали-

[1] Вольтова дуга и интересные опыты съ нею весьма просто производятся съ помощью довольно распространеннаго нынѣ городского электрическаго тока; требуются лишь нѣкоторыя приспособленія, связанныя съ проводкою тока для цѣлей экспериментированія. Рис. 416 представляетъ справа концы самыхъ углей, а слѣва—ихъ увеличенное изображеніе, которое легко проектируется на экранъ съ помощью электрическаго фонаря.

вается тонкая нить изъ угля, помѣщенная въ стеклянную оболочку, изъ которой удаленъ воздухъ, чтобы уголь не могъ сгорѣть.

Магнитныя дѣйствія электрическаго тока [1].

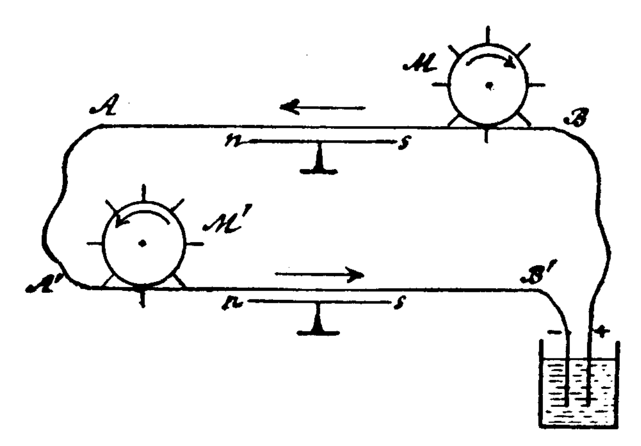
561. Если надъ успокоившейся магнитной стрѣлкой, приблизительно параллельно ей, держать мѣдную проволоку, концы которой сообщены съ полюсами гальваническаго элемента, то при прохожденіи тока стрѣлка отклоняется и устанавливается подъ угломъ къ направленію проволоки. (На рис. 417, изображающемъ расположеніе частей въ планѣ, проволока направлена по магнитному меридіану *AB*). Мы имѣемъ здѣсь случай убѣдиться, что вдоль проволоки дѣйствительно совершается нѣчто направленное въ ту или другую сторону, подобно напр. теченію жидкости. Испытавъ дѣйствіе двухъ противоположныхъ частей проволоки *AB* и *A′B′* (рис. 418), мы найдемъ, что первая отклоняетъ магнитную стрѣлку въ одну, а вторая — въ противоположную сторону. Но если бы *BAA′B′* была трубка, по которой текла бы жидкость, то въ части *AB* направленіе тока жидкости было бы одно, а въ *A′B′* — прямо противоположное (на нашемъ рисункѣ въ *AB* напр. справа налѣво, а въ *A′B′* —



417.

[1] Не лишнее замѣтить, что разсматриваемыя ниже дѣйствія предполагаютъ токъ, образцомъ котораго можетъ служить доставляемый гальваническими элементами,—токъ постояннаго направленія. Для разныхъ цѣлей производятся еще токи, которыхъ направленіе въ цѣпи измѣняется много разъ въ секунду, такъ называемые „перемѣнные токи“ (каковы именно большею частью токи, служащіе для электрическаго освѣщенія). Дѣйствія послѣднихъ гораздо сложнѣе и разнообразнѣе.

слѣва направо, какъ показано стрѣлками). Эта разница могла бы обнаружиться тѣмъ, что колеско съ лопатками, будучи помѣщено между *A* и *B* (въ *M* на рис. 418), стало бы поворачиваться въ одну сторону, а между *A′* и *B′* (въ *M′*) —



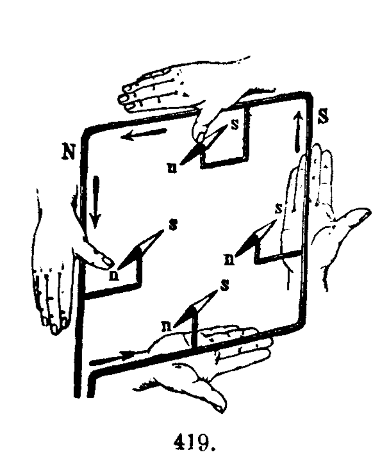
418.

въ другую (на рис. въ первомъ случаѣ — въ сторону вращенія стрѣлки часовъ, а во второмъ — противъ часовой стрѣлки). Если мы перемѣстимъ концы проволоки у элемента, соединивъ съ отрицательнымъ полюсомъ (—) тотъ конецъ ея, который прежде былъ въ сообщеніи съ положительнымъ (+), а съ положительнымъ тотъ, который сообщался съ отрицательнымъ, то направленіе тока въ ней измѣнится, и наблюдавшееся нами въ части *AB* будетъ теперь происходить въ *A′B′* и наоборотъ.

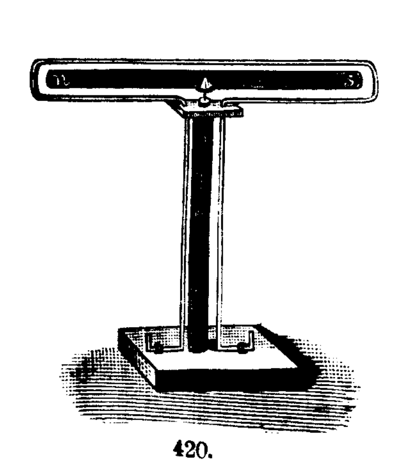
Рис. 417 показываетъ, въ какую именно сторону отклоняется магнитная стрѣлка, если она находится подъ проволокой, и если токъ въ проволокѣ имѣетъ обозначенное стрѣлками направленіе. Дѣло происходитъ такъ, какъ будто мы приближали къ стрѣлкѣ сверху магнитъ, держа его перпендикулярно къ магнитному меридіану и срединою противъ средины стрѣлки; но стрѣлка становится параллельно магниту (достаточно сильному), между тѣмъ какъ она стремится стать перпендикулярно къ проволокѣ, по которой идетъ токъ. Въ самомъ дѣлѣ, если, удерживая проволоку по прежнему горизонтально, помѣстить ее перпендикулярно къ успокоившейся магнитной стрѣлкѣ, то послѣдняя останется въ покоѣ.

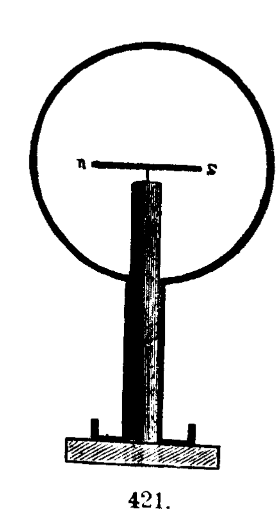
562. Давая току то или иное направленіе и слѣдя за отклоненіемъ магнитной стрѣлки, легко провѣрить слѣдующее выведенное изъ наблюденій правило. Если держать правую руку ладонью къ магнитной стрѣлкѣ, а пальцами по направленію тока, какъ показываетъ рис. 419, то сѣверный конецъ стрѣлки всегда отклоняется въ сторону отогнутаго большого пальца. Это (такъ называемое Ампѐрово) правило, наоборотъ, даетъ возможность по отклоненію магнитной стрѣлки опредѣлять въ проволокѣ направленіе тока.

563. Изъ рис. 419 прямо видно, что если магнитная стрѣлка охватывается проводникомъ съ четырехъ сторонъ (рис. 420), то всѣ части идущаго по нему тока дѣйствуютъ на стрѣлку согласно—стремятся повернуть ее въ одну и ту же сторону, перпендикулярно плоскости проволочнаго прямоугольника. Поэтому дѣйствіе тока на стрѣлку будетъ сильнѣе. Приборъ, устроенный такимъ образомъ, называется гальваноскопомъ и служитъ для обнаруженія тока и опредѣленія его направленія. Охватывающій магнитную стрѣлку проводникъ можетъ быть и иной формы, напр. круговой (рис. 421).



419.

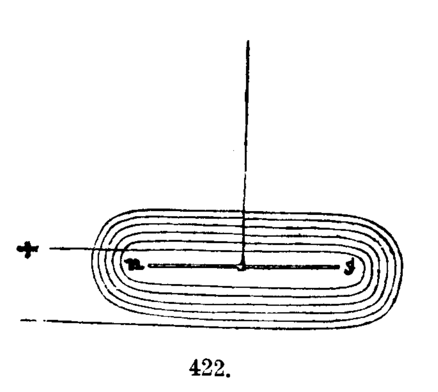

420.



421.

Но гальваноскопъ можетъ служить и для сужденія о силѣ тока, такъ какъ уголъ отклоненія стрѣлки тѣмъ больше, чѣмъ токъ сильнѣе. (Достаточно сильный токъ повернулъ бы стрѣлку почти перпендикулярно своему направленію). Въ этомъ случаѣ приборъ обыкновенно снабжается кругомъ съ градусными дѣленіями, по которому движутся концы стрѣлки. Когда приборъ приспособленъ для того, чтобы измѣрять силу тока—выражать ее численно въ нѣкоторыхъ условныхъ единицахъ — онъ называется гальванометромъ.

Чтобы еще усилить отклоняющее дѣйствіе тока (въ особенности въ случаѣ очень слабыхъ токовъ), окружаютъ магнитную стрѣлку не однимъ, а многими изолированными другъ отъ друга оборотами проволоки, по которой и пропускаютъ токъ (рис. 422). Въ дальнѣйшее описаніе устройства и употребленія гальванометровъ мы здѣсь вдаваться не можемъ.

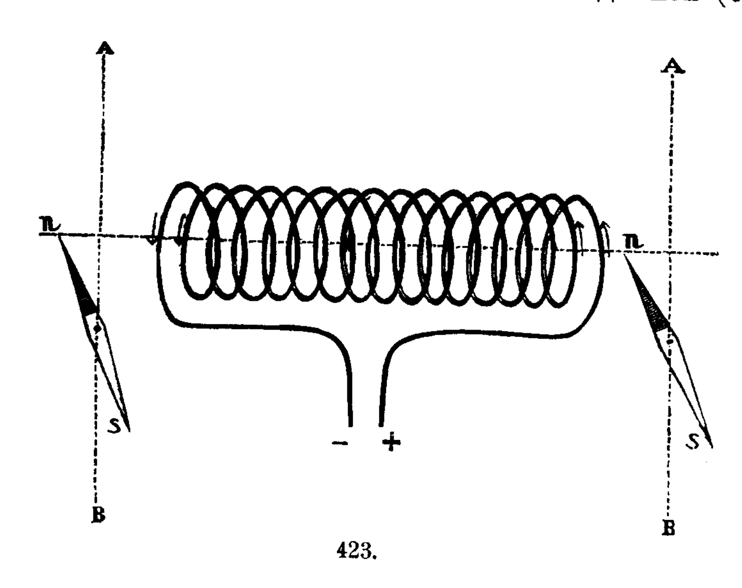


422.

564. Возьмемъ теперь проволоку, свернутую винтообразной спиралью, какъ представлено на рис. 423, сообщимъ ея концы съ полюсами гальваническаго элемента и посмотримъ, какъ будутъ дѣйствовать оба конца этой спирали на сѣверный полюсъ магнитной стрѣлки, если приближать послѣдній вдоль оси спирали. Мы увидимъ, что онъ будетъ „притягиваться“ къ одному концу спирали и „отталкиваться“ отъ другого, какъ будто мы имѣли дѣло съ магнитомъ. (На нашемъ рисункѣ пунктирныя прямыя AB съ обѣихъ сторонъ спирали обозначаютъ направленіе магнитнаго меридіана, а стрѣлка представлена уже отклонившеюся).

Точными изслѣдованіями дознано, что спиральный токъ по своимъ внѣшнимъ дѣйствіямъ на желѣзо и пр. вполнѣ подобенъ магниту: одинъ изъ концовъ его соотвѣтствуетъ сѣверному концу магнита, дру-

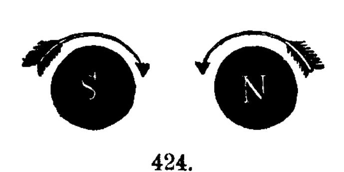
гой — южному. Можно подвѣсить такую спираль горизонтально, придавъ ей достаточную подвижность; тогда при пропусканіи тока она устанавливается своею длиною (осью)



423.

по направленію стрѣлки компаса, т. е. въ магнитномъ меридіанѣ. Два спиральныхъ тока взаимно притягиваются одними концами и отталкиваются другими.

Который именно изъ концовъ спирали будетъ соотвѣтствовать сѣверному концу магнита и который южному—это зависитъ отъ направленія тока въ спирали. Если мы обратимъ къ себѣ конецъ спирали (будемъ смотрѣть прямо на него), то токъ въ этомъ концѣ будетъ идти по одному изъ двухъ направленій: или по направленію стрѣлки часовъ, или противъ стрѣлки. Опытъ легко покажетъ, что южный полюсъ всегда будетъ съ того конца, гдѣ токъ представляется намъ идущимъ по направленію стрѣлки часовъ (см. рис. 424).

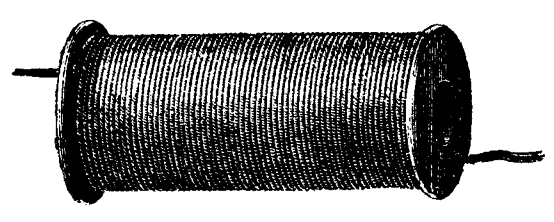


424.

Это прямо слѣдуетъ изъ даннаго выше (§ 562) Ампѣрова правила. На рис. 423, который изображаетъ расположеніе частей въ планѣ, предполагаемое направленіе тока въ проволокѣ обозначено стрѣлками (онѣ помѣщены справа на выдающейся впередъ части спирали, а слѣва—на ея противоположной части). Если, сообразуясь

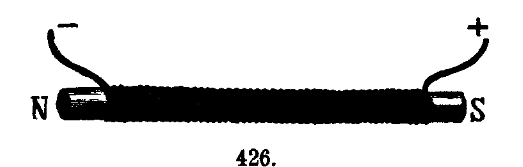
съ рис. 419, наложимъ на спираль правую руку, ладонью внутрь (къ оси), а пальцами по направленію тока, то отогнутый большой палецъ покажетъ влѣво; слѣдов. сѣверный полюсъ магнита (магнитной стрѣлки *ns*) долженъ отклониться по направленію къ концу спирали съ правой ея стороны и отъ конца съ лѣвой. Итакъ сѣверный полюсъ будетъ какъ-бы притягиваться правымъ концомъ спирали и отталкиваться лѣвымъ. Но если бы мы взглянули на правый конецъ спирали, обративъ его къ себѣ, то нашли бы, что въ немъ токъ имѣетъ направленіе часовой стрѣлки.

565. Если внутрь спиральнаго тока внести желѣзный стержень, то онъ намагничивается и значительно усиливаетъ магнитное дѣйствіе тока. Это замѣтно уже при приближеніи спирали, съ желѣзомъ и безъ него, къ магнитной стрѣлкѣ. Но еще лучше, пустивъ токъ чрезъ спиральную обмотку изъ нѣсколькихъ слоевъ изолированной проволоки („катушку“ рис. 425), испытать притяженіе ею напр. желѣзной пластинки, а потомъ вложить въ катушку желѣзный стержень: магнитное дѣйствіе значительно усилится.


425.

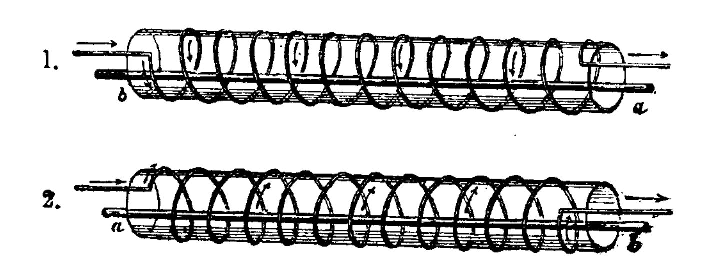
Такъ съ помощью электрическаго тока можно получать чрезвычайно сильные магниты—во много разъ сильнѣе извѣстныхъ уже намъ стальныхъ. Они называются электромагнитами.

Обыкновенно желѣзный стержень прямо обматываютъ спирально проволокой (рис. 426). Но такъ какъ для надлежащаго намагничиванія необходимо, чтобы токъ именно обходилъ по спирали вокругъ стержня, то берутъ мѣдную проволоку обвитую



426.

шелкомъ или бумажною нитью: иначе токъ направился бы по самому желѣзу или сталь бы переходить въ мѣстахъ соприкосновенія отъ одного оборота проволоки къ сосѣднему. Обвитая нитью проволока, часто употребляемая при опытахъ съ электрическимъ токомъ, называется „изолированной“ проволокою: въ настоящемъ случаѣ — при малыхъ электрическихъ разностяхъ на полюсахъ источника тока— нитяная изолировка оказывается вполнѣ достаточной. Если



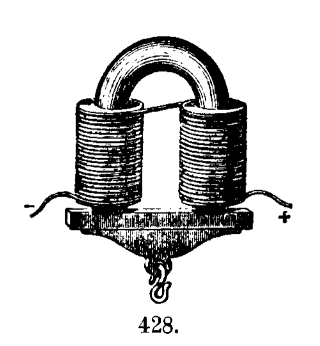
427.

взять необмотанную проволоку, то пришлось бы слѣдить за тѣмъ, чтобы отдѣльные обороты спирали не касались другъ друга, а самый желѣзный стержень изолировать отъ спирали, напр. обернувъ его бумагой или помѣстивъ въ стеклянную трубку. Родъ (наименованіе) полюсовъ въ стержнѣ опредѣляется упомянутымъ въ пред. § правиломъ. Такъ при направленіи тока, представленномъ на рис. 427 стрѣлками, южный полюсъ (*b*) будетъ слѣва въ 1-мъ случаѣ и справа во 2-мъ (см. также рис. 426).

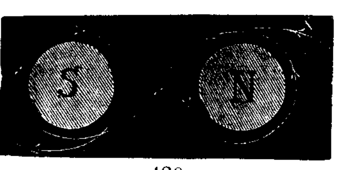
Припомнимъ, что сходнымъ образомъ намагничивается— хотя и гораздо слабѣе — кусокъ стальной вязальной спицы кратковременными разрядами лейденской банки (§ 549 пред. гл.).

При намагничиваніи разныхъ сортовъ желѣза и стали токомъ замѣчаются такія же различія, какъ при дѣйствіи на нихъ магнита: чистое желѣзо по прекращеніи тока размагничивается, а обыкновенные сорта продажнаго желѣза сохраняютъ въ себѣ большее или меньшее „остаточное“ намагниченіе. Закаленная сталь остается „постояннымъ“ магнитомъ.

566. Чтобы усилить намагниченіе, обмотка изъ изолированной мѣдной проволоки накладывается на желѣзный „сердечникъ“ многими слоями другъ на друга. Рис. 428 изображаетъ электромагнитъ подковообразной формы (его обмотка хорошо видна и на электромагнитѣ обыкновеннаго электрическаго звонка). На рис. 429 представлено направ-



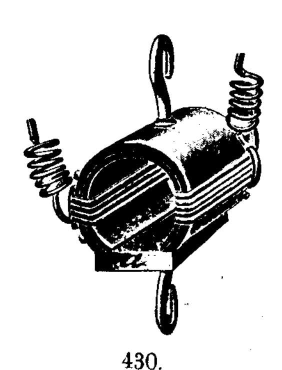
428.



429.

леніе тока въ южномъ и сѣверномъ концахъ электромагнита (если смотрѣть, обративъ концы къ себѣ).

Сила, съ которой электромагнитъ удерживаетъ прикладываемый къ нему „якорь“ (изъ мягкаго желѣза), зависитъ еще отъ размѣровъ и формы электромагнита и отъ силы тока. Очень большой подъемной силой отличается электромагнитъ (рис. 430), состоящій изъ разрѣзанной вдоль толстостѣнной желѣзной трубки, къ которой прикладывается широкій плоскій якорь (*a*). Тока отъ одного элемента Грене́ достаточно, чтобы якорь такого электромагнита—даже небольшихъ размѣровъ—нельзя было оторвать усиліемъ одного человѣка.


430.

Вообще электромагнитъ, удерживающій при сравнительно малыхъ размѣрахъ грузъ въ нѣсколько пудовъ, не представляетъ рѣдкости. Большіе электромагниты могутъ удерживать десятки и сотни пудовъ. Однако намагниченіе желѣза имѣетъ границу, которую нельзя превзойти никакимъ усиленіемъ дѣйствія тока.—Стальные „постоянные“ магниты изготовляются намагничиваніемъ закаленной стали электрическимъ токомъ или электромагнитами.

567. Особенности электромагнитовъ (ихъ большая сила, способность быстро намагничиваться и размагничиваться съ

замыканіемъ или прекращеніемъ тока) привели къ нѣкоторымъ замѣчательнымъ ихъ примѣненіямъ. Объ одномъ изъ нихъ уже упоминалось выше (§ 500). То, что **всѣ** тѣла природы въ большей или меньшей степени подвергаются магнитному дѣйствію, было открыто именно съ помощью сильныхъ электромагнитовъ.

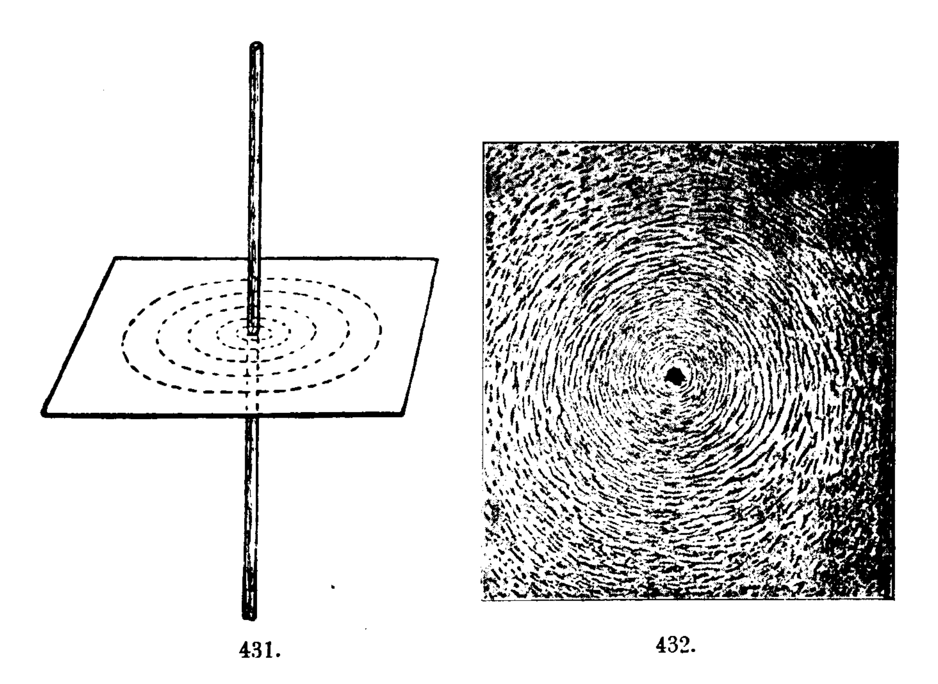
Далѣе, представимъ себѣ, что гальваническая батарея сообщается проводами съ электромагнитомъ, находящимся гдѣ-либо въ другомъ мѣстѣ, хотя бы очень удаленномъ. Если будемъ замыкать и размыкать токъ батареи, то электромагнитъ будетъ то притягивать якорь, то нѣтъ: движеніемъ якоря можно воспользоваться для передачи условныхъ знаковъ (напр. по числу ударовъ якоря объ электромагнитъ) на большое разстояніе. Отсюда—уже одинъ шагъ до электромагнитнаго **телеграфа**.

Самое **производство электрическихъ токовъ заводскимъ путемъ**, связанное со множествомъ полезныхъ его примѣненій (какъ напр. электрическое освѣщеніе, эл. трамваи), основывается на преобразованіи механической энергіи въ энергію электрическаго тока при посредствѣ **электромагнитовъ**.

Но и независимо отъ практическихъ приложеній, электромагнитъ важенъ для насъ тѣмъ, что съ большой наглядностью указываетъ намъ на **тѣснѣйшее родство между электрическими и магнитными явленіями**. Существуютъ попытки разсматривать и самыя дѣйствія магнита какъ слѣдствіе электрическихъ токовъ, окружающихъ его частицы. Магнитныя дѣйствія земли вѣроятно тоже связаны съ протекающими въ ней электрическими токами.

О магнитномъ полѣ электрическаго тока.

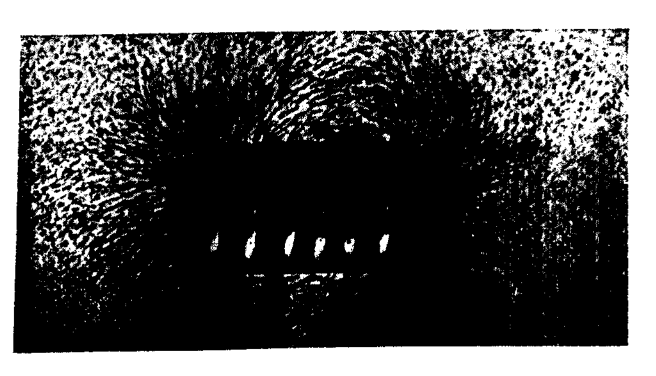
568. Послѣ разсмотрѣннаго выше конечно можно сказать, что вокругъ проволоки, по которой проходитъ электрическій токъ, появляется **магнитное поле**. Направленія силовыхъ линій (§ 505) въ этомъ полѣ очень наглядно обнаруживаются помощью желѣзныхъ опилокъ, какъ было описано выше (§ 504). Если именно насадить на вертикальную мѣдную проволоку въ горизонтальномъ положеніи кусокъ папки (рис. 431) и посыпать на него желѣзныхъ опилокъ, то при пропусканіи по проволокѣ достаточно сильнаго тока опилки располагаются **концентрическими окружностями вокругъ тока**, что хорошо видно на отдѣльномъ рис. 432. (Легкое сотрясеніе папки способствуетъ бо́льшей подвижности опилокъ и лучшей обрисовкѣ линій). Мы имѣемъ



431. 432.

здѣсь примѣръ магнитнаго поля, „картина" котораго явно отличается отъ примѣровъ, разсмотрѣнныхъ нами раньше, при стальныхъ магнитахъ (§ 504).

Но взглянемъ на рис. 433, изображающій, какъ располагаются



433.

желѣзныя опилки вокругъ **спиральной** проволоки, по которой проходитъ (достаточно сильный) электрическій токъ. Общая кар-

тина магнитнаго поля вокругъ спирали получается такая же, какъ и въ случаѣ магнитнаго бруска (сравн. съ рис. 378).

Каково бы ни было происхожденіе магнитныхъ силовыхъ линій, бо́льшая или меньшая сплоченность ихъ наглядно изображаетъ намъ напряженность магнитнаго поля въ данномъ мѣстѣ, подобно тому, какъ „напряженность свѣта" на данномъ разстояніи отъ источника можетъ быть условно изображаема бо́льшею или меньшею сплоченностью „геометрическихъ лучей" (§ 269). Если свѣтовой пучекъ, падающій перпендикулярно на площадку въ 1 кв. см., освѣщаетъ ее вчетверо сильнѣе, чѣмъ другой перпендикулярный пучекъ такую же площадку, то первый мы можемъ условно изобразить напр. 20-ю лучами, а второй 5-ю. (Близко подходящій сюда случай мы имѣли бы, еслибы площадка освѣщалась очень узкимъ пучкомъ изъ точки, а другая такая же отстояла отъ свѣтящей точки вдвое дальше). Сходнымъ образомъ напряженность магнитнаго поля въ той или иной его части можно условно изображать числомъ силовыхъ линій, приходящихся на кв. сантиметръ перпендикулярной къ нимъ плоскости.

Роль желѣза, вносимаго въ магнитное поле тока, очень замѣчательна: въ желѣзѣ магнитное поле становится гораздо напряженнѣе, чѣмъ оно было въ томъ же мѣстѣ поля (обыкновенно въ воздухѣ) до внесенія желѣза. Такимъ образомъ желѣзо какъ-бы сгущаетъ или сплочиваетъ въ себѣ магнитныя силовыя линіи; послѣднія могутъ чрезъ это сплотиться и въ сосѣднихъ частяхъ поля, которое тогда усиливается и вокругъ желѣза.

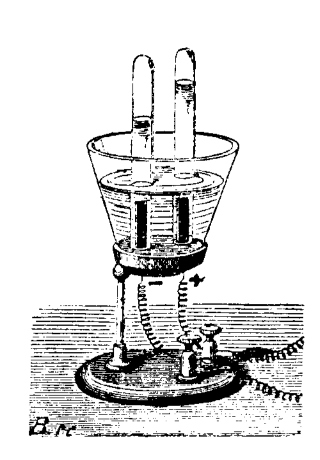
Химическія дѣйствія тока [1].

569. Электрическій токъ, проходя по разнымъ сложнымъ веществамъ, разлагаетъ ихъ: иногда прямо получаются тѣ простыя тѣла, которыя входятъ въ составъ взятаго химическаго соединенія. О разложеніи воды на водородъ и кислородъ дѣйствіемъ мгновенно электрическаго разряда упоминалось выше. Длящійся разрядъ, или электрическій токъ, позволяетъ наблюдать химическія дѣйствія гораздо лучше. Изъ множества примѣровъ мы возьмемъ только два.

Обыкновенно употребляемая нами вода разлагается на составныя части очень трудно. Опытъ показываетъ, что разложеніе идетъ гораздо легче, если къ водѣ прибавить напр. сѣрной кислоты. На погруженныхъ въ такую воду

[1] Предполагается токъ постояннаго направленія, напр. отъ гальваническихъ элементовъ. См. выноску на стр. 642.

платиновыхъ пластинкахъ, сообщающихся съ полюсами гальванической батареи, при замыканіи тока появляются газовые пузырьки: на „положительномъ" концѣ кислородъ, на „отрицательномъ"—водородъ. (Дѣйствіе хорошо замѣтно уже въ случаѣ двухъ элементовъ Грене́, соединенныхъ между собою какъ упомянуто выше въ § 558). Для собиранія выдѣляющихся газовъ поступаютъ напр. такъ. Надъ платиновыми пластинками, которыми оканчиваются подводящія токъ проволоки, устанавливаютъ стеклянные цилиндры, предварительно наполнивъ ихъ тою же жидкостью (подкисленною водою), которая находится въ сосудѣ (рис. 434). По мѣрѣ химическаго дѣйствія тока, водородъ и кислородъ собираются въ цилиндрахъ, вытѣсняя изъ нихъ жидкость. (Конечно тѣ части проволокъ, которыя находятся внѣ цилиндровъ, должны быть покрыты изолирующимъ матерьяломъ, напр. сургучнымъ лакомъ, чтобы токъ не переходилъ отъ нихъ въ жидкость).



434.

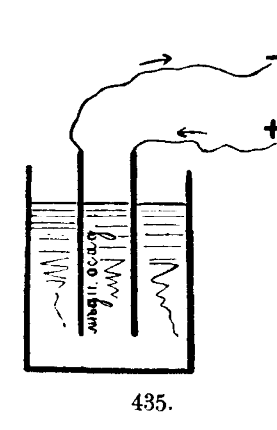
Разлагая воду токомъ, при надлежащихъ предосторожностяхъ, получаютъ на каждый объемъ кислорода почти точно двойной объемъ водорода. Такъ какъ водородъ круглымъ счетомъ въ 16 разъ легче равнаго объема кислорода (конечно при одной и той же температурѣ и одинаковомъ давленіи), то въ двойномъ противъ кислорода объемѣ онъ будетъ вѣсить почти въ 8 разъ меньше послѣдняго. Отсюда вѣсовое отношеніе водорода и кислорода, составляющихъ воду, и выходитъ округленно 1 : 8. (См. § 179).

Если при разложеніи воды токомъ собирать газы, не раздѣляя ихъ, то получается смѣсь, называемая гремучимъ газомъ (см. § 185). Наполненные этой смѣсью мыльные пузыри при поднесеніи огня даютъ сильные взрывы.

Надо замѣтить, что вода совершенно чистая, т. е. освобожденная отъ всякихъ растворенныхъ въ ней веществъ (такую воду приготовить очень трудно), не проводитъ тока и потому имъ не разлагается. Какимъ образомъ

растворенныя въ водѣ вещества могутъ способствовать ея разложенiю—это вопросъ довольно сложный, и затрагивать его здѣсь было бы неумѣстно.

570. Въ качествѣ второго примѣра возьмемъ разложенiе токомъ раствореннаго въ водѣ мѣднаго купороса. Опустивъ въ насыщенный растворъ мѣднаго купороса двѣ платиновыя пластинки (рис. 435), сообщенныя съ полюсами элемента Грене́, въ скоромъ времени замѣтимъ на той изъ нихъ, которая соединена съ отрицательнымъ полюсомъ, осажденiе тонкаго розовато-краснаго слоя чистой мѣди; на другой пластинкѣ появляются газовые пузырьки: это кислородъ. Если перемѣнить направленiе тока, чтобы отрицательная пластинка стала положительной и наоборотъ, то мѣдный осадокъ мало по малу исчезаетъ съ поверхности платины; затѣмъ мѣдь станетъ осаждаться на той пластинкѣ, которая теперь сообщена съ отрицательнымъ полюсомъ, а на другой (+) появляются пузырьки кислорода. Мы не можемъ здѣсь вдаваться ни въ какiя подробности явленiя, а ограничиваемся указанiемъ лишь на его непосредственно видимые результаты.



435.

Если вмѣсто платиновыхъ пластинокъ взять напр. мѣдныя, то можно также замѣтить осажденiе мѣди на отрицательной пластинкѣ—по появленiю на ней свѣжаго красноватаго слоя. Выдѣленiе же кислорода прекратится, такъ какъ теперь со стороны положительнаго полюса происходятъ еще другiя, чисто химическiя взаимодѣйствiя, въ которыхъ принимаетъ участiе и мѣдь; платиновыя пластинки берутся именно для устраненiя этихъ постороннихъ химическихъ явленiй.

При достаточной продолжительности тока слой осаждающейся мѣди можетъ сдѣлаться настолько толстымъ, что безъ поврежденiя снимается съ пластинки. Еслибы на ней былъ какой-либо рельефный рисунокъ, то онъ со всѣми подробностями отпечатался бы съ внутренней поверхности мѣднаго слоя. На этомъ основано между прочимъ гальванопластическое изготовленiе точныхъ металлическихъ оттисковъ съ рельефныхъ оригиналовъ.

Болѣе подробный разборъ производимыхъ токомъ химическихъ разложенiй (т. наз. электролиза) потребовалъ бы надлежащихъ свѣдѣнiй изъ химiи, съ областью которой тѣснѣйшимъ образомъ связаны эти явленiя. Надо еще замѣтить, что дѣйствiя тока на разныя химическiя соединенiя въ большинствѣ случаевъ очень усложняются тѣми новыми химическими взаимодѣйствiями, которыя происходятъ между тѣлами, выдѣлившимися отъ дѣйствiя собственно тока.

Какъ возникаетъ токъ въ гальваническихъ элементахъ; аккумуляторы.

571. Гальваническiй элементъ есть приборъ, производящiй въ замкнутой цѣпи электрическiй токъ въ то время, какъ внутри элемента совершается химическое взаимодѣйствiе между нѣкоторыми изъ составляющихъ его тѣлъ: въ нашемъ типическомъ примѣрѣ (рис. 414)—между цинкомъ и разведенной сѣрной кислотою. Явленiя, происходящiя при этомъ въ элементѣ, очень сложны; но нельзя не отмѣтить здѣсь нѣкоторыхъ сторонъ дѣла.

1) Возникновенiе тока въ цѣпи связано съ существованiемъ электрической разности на полюсахъ элемента; но вопросъ, какъ и отчего происходитъ эта разность, нельзя еще считать сколько нибудь выясненнымъ. Вообще считаютъ, что электрическiя разности появляются въ мѣстахъ соприкосновенiя всѣхъ составляющихъ элементъ разнородныхъ проводниковъ: мѣдной проволоки съ цинковой пластинкой, цинка съ кислотою, кислоты съ мѣдной пластинкой; складываясь въ элементѣ, онѣ способствуютъ движенiю электричества—когда цѣпь замкнута—въ одномъ и томъ же круговомъ направленiи, а именно во внѣшней проволокѣ отъ мѣди къ цинку, а въ жидкости—отъ цинка къ мѣди. Но взгляды разныхъ ученыхъ сильно расходятся относительно того, гдѣ главный источникъ электрической разности: въ мѣстахъ соприкосновенiя разнородныхъ металловъ между собою или же металловъ съ жидкостью. Самая причина возникновенiя электрической разности при соприкосновенiи разнородныхъ проводниковъ, хотя явленiе открыто уже болѣе столѣтiя тому назадъ, тоже еще остается неразъясненною.

2) Токъ поддерживается непрерывною затратою нѣкоторой энергiи въ элементѣ. На это ясно указываетъ слѣдующее явленiе. При химическомъ взаимодѣйствiи цинка и сѣрной кислоты, какъ извѣстно, развивается теплота. Если опредѣлить, сколько тепловыхъ единицъ развивается напр. на каждый граммъ израсходованнаго цинка, пока проволоки элемента не сообщены между собою, т. е. пока еще нѣтъ тока, а потомъ повторить наблюденiе, когда аппаратъ даетъ токъ (когда цѣпь зам-

кнута), то окажется, что въ послѣднемъ случаѣ теплоты внутри элемента выдѣляется меньше: химическая энергія цинка и сѣрной кислоты преобразовывается въ энергію электрическаго тока, и теплота выдѣляется теперь на всемъ его пути (нагрѣваніе проводниковъ, составляющихъ цѣпь). Нельзя однако сказать, чтобы въ гальваническихъ элементахъ преобразовывалась въ токъ вся химическая энергія, и чтобы химическое взаимодѣйствіе всегда было единственнымъ источникомъ тока: сдѣланное въ § 557 сравненіе этого источника съ работою насоса надо разсматривать лишь какъ первое приближеніе [1].

3) Самый ходъ химическаго процесса въ элементѣ какимъ-то образомъ связанъ съ тѣмъ, замкнута цѣпь или нѣтъ. Если цинкъ и разведенная сѣрная кислота химически чисты, то при простомъ соприкосновеніи взаимодѣйствіе между ними происходитъ чрезвычайно медленно. Но стóитъ лишь сообщить между собою проволоки элемента (рис. 414), т. е. замкнуть цѣпь, и замѣщеніе водорода цинкомъ въ сѣрной кислотѣ очень ускоряется. Однако водородъ выдѣляется теперь уже не на поверхности цинка, а на мѣдной пластинкѣ, служащей внутри элемента отрицательнымъ полюсомъ (такъ какъ токъ направленъ въ немъ отъ цинка къ мѣди),— происходитъ электролизъ разведенной сѣрной кислоты (§ 569) [2].

572. На практикѣ гальваническіе элементы часто замѣняются другого рода химическими производителями тока, которые называются аккумуляторами. Положимъ, что чрезъ тѣла, которыя сами по себѣ не дѣйствуютъ химически другъ на друга, пропускается электрическій токъ: химическое измѣненіе, производимое въ нихъ токомъ, можетъ дать начало такимъ новымъ веществамъ, которыя, взаимодѣйствуя химически, образуютъ

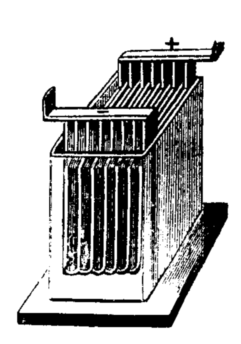
---

[1] Изъ многихъ химическихъ явленій, которыя могутъ быть длящи-
мися источниками электрической энергіи, кромѣ взятаго нами при-
мѣра, упомянемъ еще горѣніе. Тѣла при горѣніи электризуются:
когда напр. тѣло тлѣетъ и дымитъ, оно электризуется отрицательно,
а дымъ положительно.

[2] Выдѣленіе водорода въ замкнутыхъ гальваническихъ элемен-
тахъ могло бы повести къ накопленію водороднаго газа на „поло-
жительной“ пластинкѣ (мѣдь, уголь и пр.), что вредно отзывается на
ихъ дѣйствіи. Это предотвращаютъ въ элементахъ прибавкою нѣко-
торыхъ веществъ, которыми водородъ переводится въ какое-нибудь
негазообразное соединеніе, напр. въ воду. Таково именно назначеніе
хромовой кислоты, прибавляемой къ сѣрной въ элементѣ
Грене́. — Надо еще замѣтить, что цинкъ въ гальваническихъ эле-
ментахъ обыкновенно покрываютъ тонкимъ слоемъ ртути—амальга-
мируютъ. Опытъ показалъ, что тогда химическое взаимодѣйствіе
цинка и сѣрной кислоты происходитъ почти что только во время
прохода тока (т. е. когда цѣпь замкнута), какъ еслибы былъ взятъ
химически-чистый цинкъ. Это улучшаетъ дѣйствіе элемента и умень-
шаетъ напрасную трату матерьяловъ въ то время, когда элементъ не
работаетъ.

первоначально взятыя тѣла; этотъ обратный процессъ доставляетъ энергію, которою можно воспользоваться для полученія тока. Вотъ основаніе устройства аккумуляторовъ, т. е. „собирателей“ электрической энергіи, доставляемой токомъ отъ другого источника. Ихъ зарядка сопровождается преобразованіемъ энергіи пропускаемаго электрическаго тока въ запасъ энергіи химически-взаимодѣйствующихъ веществъ, а использованіе запаса, разрядка,—обратнымъ превращеніемъ химической энергіи въ энергію электрическаго тока.

Въ составъ наиболѣе распространенныхъ аккумуляторовъ входятъ нѣкоторыя химическія соединенія свинца, наслоенныя на свинцовыя пластины, и разведенная сѣрная кислота. Общій видъ такого аппарата представленъ на рис. 436. — Аккумуляторы (когда есть готовый источникъ тока для ихъ зарядки) представляютъ въ примѣненіяхъ извѣстныя преимущества сравнительно съ гальваническими элементами; въ особенности же они удобны тѣмъ, что позволяютъ запасать энергію насчетъ дешевыхъ источниковъ электрическаго тока или насчетъ временно имѣющихся въ распоряженіи избытковъ электрической энергіи.



436.

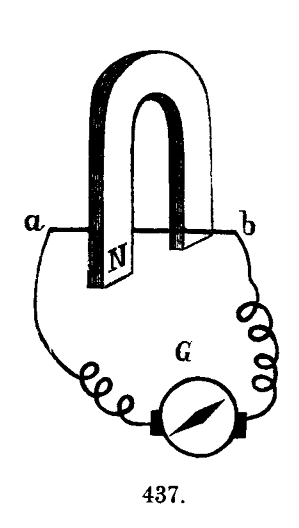
Преобразованіе механической работы въ электрическій токъ и обратно.

573. Нынѣ, при распространенности электрическаго тока, особенно въ большихъ городахъ, преобразованіе энергіи тока въ другіе виды энергіи становится для насъ все болѣе обычнымъ явленіемъ. Сильное накаливаніе тѣлъ, которымъ пользуются для электрическаго освѣщенія, есть слѣдствіе преобразованія энергіи тока въ теплоту, а движеніе вагона электрическаго трамвая даетъ намъ хорошій случай видѣть и производство механической работы электрическимъ токомъ. Но энергія тока, въ свою очередь, должна доставляться расходованіемъ какой-либо другой энергіи. И дѣйствительно, на такъ называемыхъ „электрическихъ станціяхъ“ можно видѣть особыя производящія токъ машины, обыкновенно приводимыя въ дѣйствіе паровыми двигателями, насчетъ той энергіи, которая получается при горѣніи топлива.

Чтобы ознакомиться съ важнѣйшими явленіями, которыя

характеризуется электрическій токъ (постояннаго направленія), мы пользовались гальваническими элементами. Для опытовъ въ маломъ видѣ гальваническіе элементы пока самый удобный и доступный источникъ тока. Теперь мы познакомимся съ дѣйствіями одного прибора, помощью котораго механическая работа преобразовывается въ энергію электрическаго тока, подобно тому, какъ это происходитъ въ машинахъ, употребляемыхъ въ техникѣ („электротехникѣ“). Основное явленіе, которое привело къ этимъ замѣчательнымъ произведеніямъ человѣческой изобрѣтательности, состоитъ въ слѣдующемъ.

Если вблизи магнита извѣстнымъ образомъ перемѣщать замкнутый проводникъ, то въ послѣднемъ, во время его перемѣщенія относительно магнита, возникаетъ электрическій токъ. Напр. съ очень сильнымъ магнитомъ (электромагнитомъ) и чувствительнымъ гальваноскопомъ надлежащаго устройства можно было бы произвести слѣдующій опытъ. Сообщивъ съ гальваноскопомъ (G) концы мѣдной проволоки ab, быстро передвинемъ ее между концами магнита поперекъ линіи, соединяющей полюсы (т. е. вверхъ или внизъ на рис. 437): гальваноскопъ покажетъ возникновеніе тока, который длится только пока перемѣщается проводникъ. Насчетъ какой затраты возникаетъ здѣсь электрическій токъ? Опытъ опять-таки показываетъ, что движеніе проводника вблизи магнита встрѣчаетъ какое-то особое противодѣйствіе или сопротивленіе, которое приходится предолѣвать, т. е. затрачивать энергію. При надлежащихъ — не легко выполнимыхъ — условіяхъ сопротивленіе прямо ощущается рукою, двигающею проводникъ [1]. Работа, затрачивае-

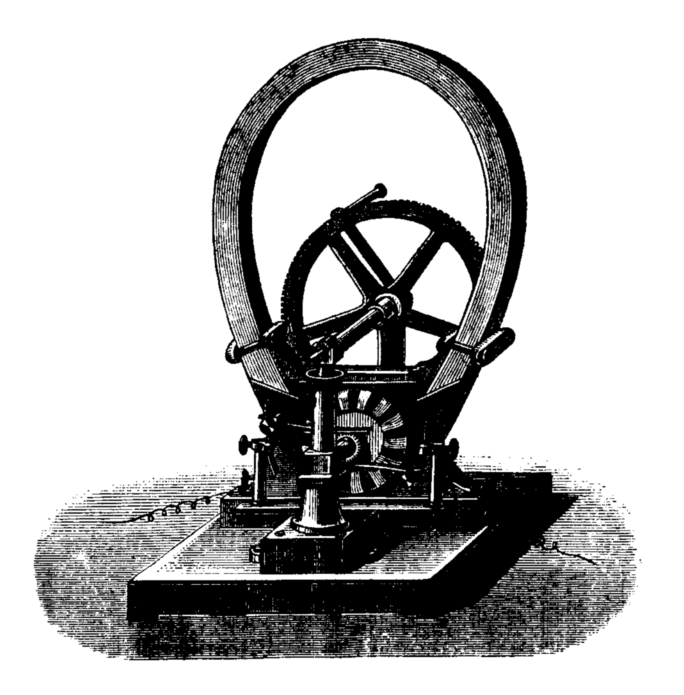


437.

[1] Надо имѣть въ виду, что проводникъ берется мѣдный, и то слѣдововательно здѣсь вовсе не преодолѣвается какое-либо „притяженіе“ его къ магниту.

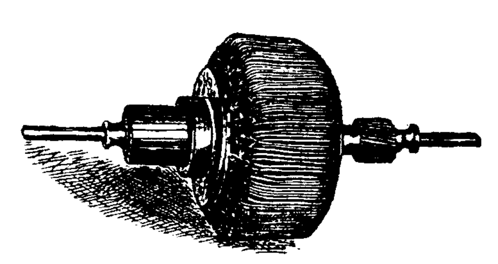
мая на преодолѣваніе этого сопротивленія, и является источникомъ возникающаго въ проводникѣ тока, который называется наведеннымъ или индукціоннымъ токомъ.

Тщательными изслѣдованіями выяснено, какую форму надо придать проводнику, и какъ слѣдуетъ его двигать относительно магнита, чтобы какъ можно лучше использовать индукціонное дѣйствіе. Не входя здѣсь ни въ какія подробности этого сложнаго вопроса, взглянемъ на рис. 438,


438.

изображающій такъ называемую магнито-электрическую машину Грамма, — приборъ весьма удобный для производства опытовъ съ индукціоннымъ токомъ въ маломъ видѣ (но къ сожалѣнію очень дорогой). Между полюсами большого подковообразнаго магнита можетъ быстро вращаться — помощью зубчатаго зацѣпленія — желѣзное кольцо, обмотанное многими оборотами мѣдной изолированной проволоки. (Оно представлено отдѣльно на рис. 439). Концы обмотки сообщаются съ двумя зажимными вин-

тами, отъ которыхъ отходятъ проводныя проволоки [1]. При вращеніи кольца съ обмоткою, на зажимныхъ винтахъ появляется электрическая разность — тѣмъ бóльшая, чѣмъ быстрѣе вращеніе: одинъ зажимъ электризуется положительно, другой отрицательно; если тогда сообщимъ между собою концы проводной проволоки, то получимъ въ ней электрическій токъ.



439.

Всѣ описанные выше (§§ 559, 561—566, 569, 570) основные опыты съ электрическимъ токомъ хорошо производятся съ помощью этого замѣчательнаго прибора, который обыкновенно можетъ замѣнять собою 3—5 свѣже-снаряженныхъ элементовъ Грене́, соединенныхъ такъ, какъ упомянуто въ § 558.

574. Машина Грамма позволяетъ убѣдиться съ большою наглядностью, что на производство тока расходуется нѣкоторая работа. Когда обмотка кольца замкнута внѣшнимъ проводникомъ, и машина производитъ токъ, — на вращеніе кольца приходится затрачивать работу значительно больше той, какая идетъ на преодолѣніе тренія. Вертѣть машину гораздо труднѣе, когда идущіе отъ ея полюсовъ провода сомкнуты, чѣмъ когда они разъединены. Если, сообщивъ рукояткѣ быстрое вращеніе при разомкнутыхъ проводахъ, отнять руку и тотчасъ же замкнуть цѣпь, т. е. сблизить концы проволокъ до соприкосновенія, то машина быстро останавливается, какъ бы подъ дѣйствіемъ тормаза. (Сравн. съ соотвѣтственными явленіями на электрофорной машинѣ, § 555).

Магнитъ машины Грамма конечно можно съ успѣхомъ замѣнить электромагнитомъ, такъ какъ тогда получается возможность усилить индукціонное дѣйствіе. Мало того. Разъ слабо намагнитивъ желѣзо электромагнита, можно

[1] Нѣкоторыя промежуточныя части пока не имѣютъ для насъ значенія. Роль ихъ будетъ объяснена въ другомъ мѣстѣ (§ 595).

усиливать и поддерживать его намагниченіе токомъ самой-же машины. На практикѣ употребляются исключительно машины, усовершенствованныя въ этомъ и иныхъ отношеніяхъ, называемыя динамо-электрическими или короче динамо-машинами.

575. Значеніе ихъ однако не ограничивается ролью производителей тока. Если чрезъ подобную машину пропустить электрическій токъ изъ посторонняго источника, то подвижная часть машины начинаетъ вращаться и можетъ такимъ образомъ совершать механическую работу, приводя въ движеніе какія либо другія машины; на это затрачивается со стороны тѣмъ больше энергіи, чѣмъ больше работа, совершаемая машиной.—Описанная выше машина Грамма медленно вращается уже отъ тока двухъ свѣже-снаряженныхъ элементовъ Грене́.

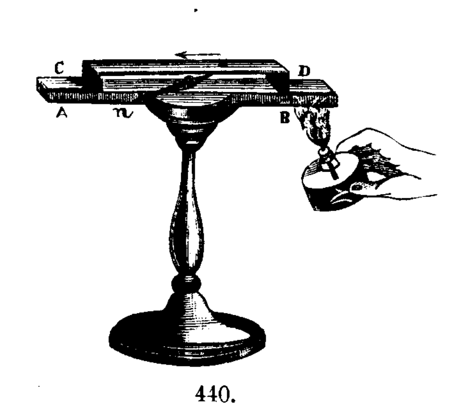
Машины, преобразовывающія энергію электрическаго тока въ механическую, называются электродвигателями или электромоторами и находятъ нынѣ разнообразнѣйшія примѣненія. Напр. колеса вагона электрическаго трамвая приводятся въ движеніе помѣщеннымъ подъ вагономъ электродвигателемъ, которому, чрезъ посредство воздушнаго провода и рельсовъ, доставляется токъ отъ станціонной динамомашины.

О термоэлектрическомъ токѣ.

576. Въ заключеніе этой главы скажемъ лишь очень немногое объ условіяхъ непосредственнаго преобразованія тепловой энергіи (теплоты) въ энергію электрическаго тока. Если нагрѣть мѣсто соприкосновенія двухъ разнородныхъ проводниковъ, то на нихъ появляется электрическая разность, которая можетъ дать начало току: этотъ токъ называется термоэлектрическимъ. Возникающія такимъ образомъ электрическія разности, вообще говоря, очень малы. Онѣ зависятъ отъ рода соприкасающихся проводниковъ и возрастаютъ (въ извѣстныхъ границахъ) съ температурою.

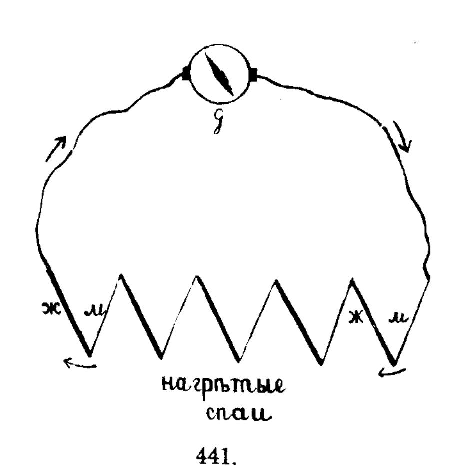
На рис. 440 представленъ одинъ изъ обычныхъ приборовъ, служащихъ для возбужденія и обнаруженія термоэлектрическаго тока. Къ концамъ бруска изъ металла висмута (AB) припаяна прямоугольно изогнутая мѣдная пластинка (CD); внутри на шпенькѣ помѣщается магнитная стрѣлка. Приборъ устанавли-

ваютъ по длинѣ въ магнитномъ меридіанѣ. Пока температура спаевъ AC и BD одинакова, магнитная стрѣлка прибора (представляющаго, какъ видно, одновременно и гальваноскопъ) остается въ покоѣ. Но если одинъ изъ спаевъ нагрѣть, то въ замкнутой цѣпи, составленной металлами, появляется токъ, обнаруживаемый отклоненіемъ стрѣлки; по тому, въ какую сторону отклоняется ея сѣверный полюсъ, можно на основаніи Ампѐрова правила (§ 562) заключить, что токъ идетъ въ нагрѣтомъ спаѣ отъ висмута къ мѣди (въ другомъ спаѣ онъ слѣдов. направляется отъ мѣди къ висмуту). Условіемъ возникновенія термоэлектрическаго тока является здѣсь разность температуръ обоихъ спаевъ. Если начать нагрѣвать другой спай (AC), то отклоненіе стрѣлки тотчасъ станетъ уменьшаться, и когда температура спая AC будетъ выше чѣмъ BD, направленіе тока въ цѣпи измѣнится въ противоположное. Если отнять огонь, то токъ въ цѣпи будетъ продолжаться, постепенно ослабѣвая, пока температура спаевъ не сравняется.



440.

Для усиленія дѣйствія соединяютъ въ рядъ нѣсколько подобныхъ термоэлектрическихъ элементовъ изъ двухъ разнородныхъ металловъ. Рис. 441 изображаетъ термоэлектрическую батарею изъ мѣдно-желѣзныхъ элементовъ. Если нагрѣть пламенемъ всѣ обращенные въ одну сторону спаи, то въ цѣпи появляется термоэлектрическій токъ, обнаруживаемый (достаточно чувствительнымъ) гальваноскопомъ G. Какъ показано на рисункѣ стрѣлками, токъ направленъ въ нагрѣтыхъ спаяхъ отъ мѣди къ желѣзу.



441.

577. Преобразованіе теплоты въ электрическій токъ, казалось бы, должно вести къ прямому производству тока для техническихъ цѣлей (электрическаго освѣщенія и пр.) путемъ сжиганія угля, дровъ и др. топлива. Въ дѣйствительности же дѣло ограничивается въ этомъ отношеніи устройствомъ небольшихъ термобатарей („термоэлектрическихъ печей"), доставляющихъ токъ при нагрѣваніи ихъ пламенемъ газа и служащихъ для лабораторныхъ надобностей или лекціонныхъ опытовъ. Причина столь ограниченнаго примѣненія термобатарей какъ источниковъ тока—въ томъ, что онѣ доставляютъ лишь небольшія электрическія разности при сравнительно очень большомъ непроизводительномъ расходѣ теплоты.

Но термоэлектрическій токъ нашелъ важное примѣненіе въ другомъ отношеніи. Соединивъ надлежащимъ образомъ устроенный термоэлектрическій элементъ съ гальванометромъ, можно по показанію послѣдняго судить о температурѣ нагрѣтаго спая, если заранѣе опредѣлено, какъ измѣняется сила тока въ зависимости отъ этой температуры. Вотъ на чемъ основывается одинъ изъ примѣняемыхъ нынѣ способовъ измѣренія какъ очень высокихъ температуръ, напр. въ плавильныхъ печахъ, такъ и очень низкихъ, каковы температуры жидкаго воздуха и другихъ трудно сгущаемыхъ газовъ въ жидкомъ состояніи.

Если же соединить маленькую термоэлектрическую батарею изъ многихъ элементовъ съ очень чувствительнымъ приборомъ для обнаруженія тока, то получается приспособленіе чрезвычайно чуткое къ малѣйшимъ разницамъ температуры: имъ могутъ быть не только замѣчены, но и измѣрены температурныя различія въ ничтожнѣйшую долю градуса, не обнаруживаемыя никакимъ ртутнымъ термометромъ.

XXXII.

Объ обстоятельствахъ, отъ которыхъ зависитъ сила тока и о главныхъ электрическихъ единицахъ (ампе̂ръ, вольтъ, омъ, ваттъ). Индукціонные токи.

О силѣ тока и обстоятельствахъ, отъ которыхъ она зависитъ.

578. Говоря, что электрическій токъ „сильнѣе" или „слабѣе", мы конечно руководствуемся его дѣйствіями. Но понятіе о „силѣ" тока и выясненіе обстоятельствъ, отъ которыхъ она зависитъ, требуетъ нѣкоторыхъ подробностей. Здѣсь намъ опять окажетъ большую помощь сравненіе

тока[1] съ теченіемъ жидкости по трубамъ, благодаря разности уровней, которая поддерживается непрерывной работою насоса.

Силу водяного тока въ трубахъ мы можемъ измѣрять напр. числомъ литровъ воды, проходящей въ секунду, числомъ ведеръ въ минуту или въ часъ, вообще—количествомъ воды, протекающей чрезъ какое-либо поперечное сѣченіе трубы въ единицу времени. Количество это конечно будетъ зависѣть отъ двухъ обстоятельствъ: 1) отъ напора или давленія воды, 2) отъ тѣхъ препятствій или сопротивленій, которыя текущая жидкость встрѣчаетъ на своемъ пути. Чѣмъ больше напоръ, тѣмъ сильнѣе—въ принятомъ выше смыслѣ—будетъ водяной токъ; напротивъ, чѣмъ больше сопротивленіе въ трубахъ, тѣмъ водяной токъ (при данномъ напорѣ) будетъ слабѣе. Величина напора очевидно находится въ прямомъ отношеніи къ разности уровней жидкости въ обоихъ бассейнахъ, а сопротивленіе (треніе), испытываемое ею въ трубахъ, зависитъ напр. отъ
къ ширины и длины [redacted].

Обратимся теперь къ нашему случаю. Мы упоминали выше (§ 536), что электрическія явленія приводятъ къ понятію о нѣкоторой величинѣ, которую называютъ количествомъ электричества, и что это количество, какъ всякую другую величину, можно выражать численно въ нѣкоторыхъ условныхъ единицахъ. Согласно нашему представленію объ электрическомъ токѣ, сила тока въ замкнутой цѣпи измѣряется количествомъ электричества, проходящимъ въ единицу времени—секунду—чрезъ поперечный разрѣзъ проводника. Но если напр. вода течетъ по трубамъ, образующимъ замкнутый кругъ, то количество жидкости, проходящей чрезъ любое поперечное сѣченіе, конечно будетъ одинаково на протяженіи всего пути. Въ полномъ соотвѣтствіи съ тѣмъ сравненіемъ, котораго мы здѣсь придерживаемся, сила тока въ разныхъ частяхъ цѣпи одинакова: гальваноскопъ покажетъ одно и то же отклоненіе, въ какую бы часть цѣпи онъ ни былъ включенъ.—Принявъ силу нѣкотораго тока за единицу, можно выражать въ этихъ единицахъ силу другого тока—при посредствѣ измѣрителей тока, называемыхъ вообще гальванометрами (§ 563).

[1] Постояннаго направленія.

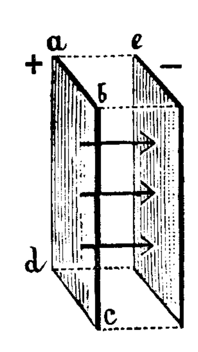
579. Идя дальше, мы найдемъ здѣсь и нѣчто соотвѣтствующее тому сопротивленію, которое встрѣчаетъ въ трубахъ текущая жидкость. Составимъ цѣпь изъ гальваническаго элемента, гальваноскопа и какихъ-нибудь проводниковъ (проволокъ). Замѣтимъ показаніе стрѣлки гальваноскопа. Послѣ этого включимъ въ цѣпь болѣе длинную проволоку изъ того же матерьяла и той же толщины: мы увидимъ, что уголъ отклоненія стрѣлки уменьшится; слѣдов. токъ сталъ слабѣе. То же произойдетъ, если включенную въ цѣпь проволоку замѣнить другою, болѣе тонкою (той же длины). Напротивъ, уменьшеніе длины проволоки или увеличеніе ея толщины произведетъ усиленіе тока. Опытъ показываетъ, что токъ болѣе или менѣе ослабляется всякимъ проводникомъ, потому что во всякомъ проводникѣ энергія тока частью расходуется на производство теплоты (§ 559). Дѣло происходитъ такъ, какъ будто токъ испытывалъ въ проводникѣ какое-то „сопротивленіе“, нѣчто вродѣ внутренняго тренія.—Сопротивленіе проводниковъ можно измѣрять, принявъ нѣкоторое сопротивленіе за единицу.

580. Электрическое сопротивленіе зависитъ не только отъ размѣровъ (длины и толщины) проводниковъ, но и отъ ихъ матерьяла. Мы уже видѣли, какимъ образомъ устанавливается въ общихъ чертахъ различіе между хорошими и дурными проводниками электричества. Но способность тѣлъ проводить электричество, или, какъ говорятъ еще, ихъ электропроводность, представляетъ множество степеней. Объ электропроводности обыкновенно и судятъ, измѣряя электрическое сопротивленіе проводниковъ, потому что чѣмъ больше сопротивленіе, тѣмъ значитъ меньше проводимость—и наоборотъ. Конечно, сравнивая сопротивленіе проводниковъ изъ разнаго матерьяла, предполагаютъ размѣры проводниковъ одинаковыми, напр. въ случаѣ металловъ сравниваютъ сопротивленіе проволокъ одинаковой длины и толщины.

Можно сказать вообще, что металлы представляютъ току сопротивленіе во много разъ меньшее, чѣмъ такъ называемые дурные проводники. Изъ металловъ наименьшее сопротивленіе свойственно серебру и красной мѣди. Сопротивленіе латуни или желтой мѣди (сплавъ мѣди съ

цинкомъ) разъ въ 5 больше, желѣза въ 6—10 разъ, платины въ 9, а ртути въ 60 разъ. Изъ тѣлъ неметаллическихъ коксъ (ретортный уголь), считающійся сравнительно хорошимъ проводникомъ, представляетъ сопротивленіе примѣрно въ 3000 разъ бо́льшее, чѣмъ серебро и мѣдь. Жидкости (кромѣ ртути) оказываютъ вообще очень большое сопротивленіе току; напр. 30% водный растворъ сѣрной кислоты — сравнительно хорошо проводящая жидкость—представляетъ сопротивленіе почти въ милліонъ разъ бо́льшее, чѣмъ серебро. Сопротивленіе химически-чистой воды еще гораздо больше этого. Что же касается стекла, гуттаперчи и другихъ худыхъ проводниковъ или изоляторовъ, то сопротивленіе ихъ выражается, по сравненію съ металлами, огромными числами.

581. Вотъ нѣсколько примѣровъ, поясняющихъ, какое значеніе можетъ имѣть то или иное сопротивленіе вводимыхъ въ цѣпь тѣлъ. Положимъ, что въ цѣпи изъ гальваническаго элемента, гальваноскопа и проводниковъ мы замѣняемъ часть мѣдной проволоки платиновою той же толщины: чтобы стрѣлка гальваноскопа осталась на томъ же дѣленіи, какъ прежде, нужно будетъ взять платиновую проволоку въ 9 разъ короче мѣдной, которую она замѣнила, потому что сопротивленіе платины въ 9 разъ больше, нежели мѣди. Столбикъ ртути (заключенный конечно въ стеклянную трубочку) пришлось бы взять короче въ 60 разъ. Если же мы хотимъ сохранить въ цѣпи прежнюю силу тока, не измѣняя длины проводниковъ, то должны надлежащимъ образомъ увеличить толщину платиновой проволоки и ртутнаго столбика, именно увеличить въ 9 и въ 60 разъ площадь ихъ поперечнаго разрѣза. Когда пропускаютъ токъ чрезъ жидкости, напр. чрезъ растворы кислотъ, солей и пр., стараются для уменьшенія сопротивленія по возможности увеличить поперечный (по отношенію къ направленію тока) разрѣзъ столба жидкости и уменьшить его длину; для этого опускаемыя въ жидкость пластинки должны имѣть сколь возможно бо́льшую поверхность и находиться какъ можно ближе одна отъ другой. (На рис. 442, гдѣ направленіе тока между пластинками представлено стрѣлками, *abcd*—поперечное сѣченіе столба жидкости, а *ae*—его длина). Въ примѣненіяхъ гальваническихъ элементовъ часто бываетъ весьма важно, чтобы токъ встрѣчалъ какъ можно меньшее сопротивленіе внутри самаго элемента: этого достигаютъ, или беря пластинки большой поверхности, или помѣщая ихъ близко одну противъ другой, или пользуются одновременно тѣмъ и другимъ; см. напр. устройство элемента Грене, § 558.



442.

Количество теплоты, развиваемое въ проводникахъ токомъ въ теченіе даннаго времени, больше всего въ тѣхъ частяхъ цѣпи, сопротивленіе которыхъ наибольшее; поэтому нагрѣваются и накаливаются по преимуществу тонкія проволоки, особенно если онѣ состоятъ изъ матерьяла со значительнымъ сопротивленіемъ. Такъ желѣзная проволока при той же силѣ тока накаливается сильнѣе одинаковой съ нею мѣдной. Въ электрическихъ „калильныхъ“ лампочкахъ, столь распространенныхъ нынѣ для цѣлей освѣщенія, сильно накаливается тонкая нить изъ угля, представляющая току значительное сопротивленіе, тогда какъ подводящіе токъ мѣдные провода нагрѣваются очень мало.

582. Послѣ этого вернемся еще разъ къ нашему сравненію. Сила водяного тока тѣмъ больше, чѣмъ больше разность уровней въ сосудахъ, и тѣмъ меньше, чѣмъ больше сопротивленіе пути. Такова же зависимость силы гальваническаго тока отъ электрической разности полюсовъ и сопротивленія тѣлъ, составляющихъ цѣпь. Зависимость эта болѣе точно выражается слѣдующимъ образомъ. Сила гальваническаго тока находится въ прямомъ отношеніи къ электрической разности и въ обратномъ отношеніи къ сопротивленію всей цѣпи.

О главныхъ единицахъ, служащихъ при измѣреніи электрическаго тока (амперъ, вольтъ, омъ, ваттъ).

583. Нынѣ нерѣдко приходится слышать, что пользованіе электрической энергіей оплачивается такъ-то и такъ,

слышать объ „амперахъ", „вольтахъ", „киловаттъ-часахъ" и пр. Въ практической жизни именно энергія электрическаго тока оплачивается подобно товару, а оцѣнка электрической энергіи предполагаетъ возможность ея измѣренія. Изъ единицъ, съ которыми приходится имѣть дѣло при измѣреніи энергіи электрическаго тока, какъ въ наукѣ, такъ и въ техникѣ (электротехникѣ), на первомъ мѣстѣ стоятъ амперъ, вольтъ, омъ, ваттъ [1]. Чтобы вполнѣ освоиться съ ними, нужны и основательное изученіе предмета, и нѣкоторая привычка. Въ нашемъ элементарномъ изложеніи можно сказать лишь очень немногое.

Выше (§ 563) было упомянуто, что о силѣ тока можно судить при извѣстныхъ условіяхъ напр. по углу отклоненія магнитной стрѣлки, и что гальванометры даютъ возможность измѣрять силу тока, т. е. выражать ее численно въ опредѣленныхъ единицахъ. Общепринятая нынѣ единица силы тока или, короче, единица тока называется амперомъ. Приборы, дающіе токъ прямо выраженнымъ въ амперахъ, называются амперметрами и постоянно употребляются въ практическихъ примѣненіяхъ электрическаго тока.

Обратимся опять къ сопоставленію электрическаго тока съ круговымъ токомъ жидкости (см. рис. 413), о силѣ котораго мы судимъ по количеству жидкости, протекающей чрезъ трубу въ единицу времени. Принявъ силу нѣкотораго водяного тока за единицу, мы тѣмъ самымъ уже устанавливаемъ, какое количество воды при этомъ токѣ протекаетъ въ каждую единицу времени. Придерживаясь нашего сравненія, можно сказать, что и при электрическомъ токѣ въ 1 амперъ чрезъ поперечное сѣченіе проводника проходитъ въ секунду нѣкоторое опредѣленное количество электричества. При томъ же самомъ токѣ въ минуту протечетъ электричества въ 60 разъ больше, а въ часъ—въ 3600 разъ. Отсюда на практикѣ количество переносимаго токомъ электричества обыкновенно выражается амперъ-часами. Напр. 100 амперъ-часовъ обозначаютъ количество электричества, которое протекаетъ по проводникамъ при токѣ въ 1 амперъ въ 100 часовъ; такое же количество электричества конечно пройдетъ при 2 амп. въ 50 час., при 4 амп. въ 25 час., ... при 100 амп. въ 1 часъ, при 200 амп. въ $^1/_2$ часа и т. д.

584. Сила тока въ цѣпи, какъ мы видѣли, зависитъ отъ величины электрической разности, поддерживающей токъ, и отъ совокупности сопротивленій, которыя представляются току на его пути. Единица электрической разности есть вольтъ, а единица электрическаго сопротивленія — омъ. Изготовляютъ проволоки опредѣленныхъ размѣровъ изъ мѣди и другихъ металловъ, служащія образцами сопротивленій въ 1 и болѣе омовъ, до

[1] Названія произведены отъ соотвѣтственныхъ фамилій нѣсколькихъ ученыхъ: Ампера (франц.), Вольта (итал.), Ома (нѣм.) и знаменитаго изобрѣтателя паровой машины Ватта или Уатта (англ.).

многихъ тысячъ. Наборы подобныхъ сопротивленій, устроенные такъ, что ихъ можно быстро и удобно включать въ цѣпь, называются реостатами. Равнымъ образомъ устраиваются гальваническіе элементы, долго сохраняющіе очень постоянную электрическую разность полюсовъ; такіе „нормальные" элементы могутъ служить какъ бы практическими образцами опредѣленной электрической разности. Приборы, прямо показывающіе электрическую разность въ вольтахъ, называются вольтметрами.

Какъ уже упоминалось выше, сопротивленіе проволокъ зависитъ отъ ихъ длины, толщины и матерьяла. Напр. сопротивленіе 1 метра мѣдной проволоки діаметр. 1,5 мм. очень близко къ 0,01 ома. Слѣдов. 100 м. проволоки представляютъ сопротивленіе въ 1 омъ. Таково же приблизительно сопротивленіе 80 метровъ желѣзной телеграфной проволоки діаметр. 4 мм. Тонкая желѣзная проволока діаметр. 0,2 мм. представляла бы сопротивленіе въ 1 омъ уже при длинѣ всего около $^1/_5$ м. Сопротивленіе тонкой угольной нити обыкновенной калильной электр. лампочки съ силою свѣта въ 16 свѣчей, въ накаленномъ состояніи, около 200 омовъ (въ холодномъ состояніи сопротивленіе нити значительно больше).

Сопротивленіе человѣческаго тѣла, довольно различное, вообще составляетъ нѣсколько тысячъ и можетъ достигать десятка тысячъ омовъ: таково примѣрно сопротивленіе 800 км. телеграфной проволоки.

585*. Названныя выше единицы тока, эл. разности и сопротивленія выбраны такъ, что если въ цѣпи проходитъ токъ въ 1 амперъ при эл. разности въ 1 вольтъ, то сопротивленіе цѣпи = 1 ому. Но выше было уже сказано о зависимости силы тока отъ эл. разности и сопротивленія. Сила тока въ цѣпи прямо пропорціональна электрической разности и обратно пропорціональна сопротивленію всей цѣпи. (Законъ Ома). Положимъ, что электрическая разность составляетъ 100 вольтовъ, а общее сопротивленіе = 20 омамъ; сколькими амперами выразится токъ? При эл. разности въ 1 вольтъ и сопротивленіи въ 1 омъ токъ былъ бы (на основаніи сказаннаго выше о соотношеніи единицъ) равенъ 1 амперу. Если электр. разность при томъ же сопротивленіи (1 омъ) увеличится до 100 вольтовъ, то токъ усилится въ 100 разъ, т. е. будетъ = 100 амп. Если же, сохранивъ электр. разность въ 100 вольтовъ, мы увеличимъ сопротивленіе съ 1 до 20 омовъ, то сила тока уменьшится въ 20 разъ, т. е. будетъ равняться $\frac{100}{20} = 5$ амперамъ. Изъ этого примѣра легко видѣть, что токъ въ амперахъ прямо находится чрезъ дѣленіе эл. разности въ вольтахъ на сопротивленіе въ омахъ, или короче:

$$\text{Число амперовъ} = \frac{\text{число вольтовъ}}{\text{число омовъ}} \quad (1).$$

Отсюда конечно прямо слѣдуетъ, что

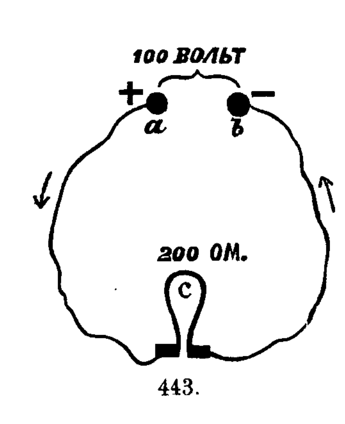
Число вольтовъ = числу амп. × число омовъ (2).

и

Число омовъ = $\frac{\text{число вольтовъ}}{\text{число амперовъ}}$ (3).

Вотъ нѣсколько простыхъ примѣровъ на примѣненіе этой зависимости.

1) Калильную электрическую лампочку включаютъ въ цѣпь (рис. 443), соединяя концы ея угольной нити (c) помощью проволокъ (проводного шнура) съ двумя проводами (a и b), идущими отъ электрической станціи. Если электр. разность точекъ a и b равна 100 вольтамъ, а сопротивленіе угольной нити 200 омовъ, то сила тока въ послѣдней $= \frac{100}{200} = \frac{1}{2}$ ампèра. Если же вмѣсто лампочки включить въ цѣпь тѣло человѣка, сопротивленіе котораго, положимъ, 10000 омовъ, то сила тока будетъ лишь $^1/_{100}$ ампèра.



443.

2) Дѣйствіе длящагося тока въ 0,1 амп. на человѣческій организмъ уже можетъ быть опаснымъ для жизни. Какой величины не должна превышать электрическая разность источника (въ вольтахъ), чтобы чрезъ включенное въ цѣпь человѣческое тѣло проходилъ токъ не сильнѣе 0,1 ампèра, если сопротивленіе тѣла принять за 5000 омовъ? Отв. 5000 × 0,1 = 500 вольтовъ.

3) Между точками a и b (рис. выше), электр. разность которыхъ поддерживается = 100 вольтамъ, включаютъ большой мотокъ изолированной мѣдной проволоки толщиною 1,5 мм., причемъ наблюдается токъ въ 10 амп. Сколько метровъ проволоки въ моткѣ, если сопротивленіе 1 метра мѣдной проволоки діам. въ 1,5 мм. равно 0,01 ома? Отв. Сопротивленіе всего мотка $= \frac{100}{10} = 10$ омамъ; слѣдов. длина проволоки $\frac{10}{0{,}01}$, или 1000 метровъ.

При рѣшеніи подобныхъ вопросовъ предполагается, что можно пренебрегать сопротивленіемъ тѣхъ (обыкновенно достаточно толстыхъ мѣдныхъ) проволокъ, которыя служатъ для соединенія включаемаго въ цѣпь предмета съ источникомъ тока.

Токъ можетъ быть довольно значителенъ и при малой электр. разности, если сопротивленіе цѣпи ничтожно. Напр. въ описанномъ выше (рис. 440) термоэлектрическомъ элементѣ изъ висмута и мѣди, если одинъ изъ спаевъ нагрѣтъ на 100° Ц. выше другого, электрическая разность соприкасающихся металловъ всего около 0,005 вольта. Положимъ, что сопротивленіе толстыхъ и короткихъ проводниковъ, изъ которыхъ состоитъ приборъ, = 0,01 ома; въ этомъ случаѣ токъ будетъ $= \frac{0{,}005}{0{,}01} = \frac{1}{2}$ ампèра. Такой токъ сильно накаливаетъ угольную нить обыкновенной электрической лампочки; но для полученія его при 200 омахъ сопротивленія нужна эл. разность въ 100 вольтовъ (см. выше).

586. Сопротивленіе металлическихъ проводниковъ возрастаетъ съ повышеніемъ ихъ температуры. Поэтому при нагрѣваніи включенной въ цѣпь проволоки сила тока въ цѣпи будетъ уменьшаться, а при охлажденіи увеличиваться. Отсюда является возможность по силѣ тока судить о температурѣ включенной проволоки. Усовершенствованіе этого пріема позволило идти въ опредѣленіи малыхъ температурныхъ разницъ еще дальше, нежели термоэлектрическимъ путемъ (§ 577), такъ что отъ вниманія изслѣдователя не ускользаютъ и милліонныя доли градуса.

587*. Въ тѣхъ случаяхъ, особенно важныхъ для практики, когда энергія тока расходуется на тепловыя, механическія и другія дѣйствія, эти послѣднія будутъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше электрической энергіи преобразовывается въ единицу времени (см. § 488). Чтобы оцѣнить рабочую мощность электрическаго тока, недостаточно знать только его силу, т. е. число ампèровъ, подобно тому, какъ для опредѣленія рабочей мощности текущей воды недостаточно знать только количество ея, протекающее въ единицу времени. Ясно, что работа, которая можетъ быть произведена токомъ воды въ данное время (см. рис. 413), зависитъ нетолько отъ количества проходящей въ это время воды, но и отъ ея давленія или напора, т. е. отъ разности уровней, поддерживающей теченіе[1]. Выше, во 2-мъ примѣрѣ § 466, вычисляя рабочую мощность водопада, мы умножали число килограммовъ воды, падающей въ секунду, на число метровъ паденія, т. е. на разность уровней, въ предѣлахъ которой вода падаетъ. Совершенно сходно съ этимъ, рабочая мощность тока, связанная нетолько съ силою тока, но и съ электрической разностью, находится чрезъ умноженіе числа ампèровъ на число вольтовъ, причемъ за единицу электрической мощности принимается мощность тока въ 1 ампèръ при электрической разности въ 1 вольтъ; эта единица мощности называется вольтъ-ампèромъ или ваттомъ (уаттомъ). Какъ уже упоминалось выше, въ § 466, ваттъ соотвѣтствуетъ ежесекундной работѣ немного болѣе 0,1 килограмметра. Киловаттъ = 1000 ваттамъ и равнозначенъ работѣ въ 100 съ небольшимъ килограмметровъ въ секунду, т. е. приблизительно $\frac{100}{75} = 1^1/_3$ паровымъ лошадямъ.

[1] Сходнымъ образомъ быстрота работы, производимой поршнемъ паровой машины, зависитъ какъ отъ количества пара, притекающаго въ единицу времени, такъ и отъ его давленія.

Послѣ этого будетъ понятно, что въ практикѣ расходъ электрической энергіи оцѣнивается по числу киловаттовъ въ часъ, или по числу киловаттъ-часовъ. Въ самомъ дѣлѣ, „киловаттъ-часъ" означаетъ нѣкоторое совершенно опредѣленное количество энергіи, которое въ 3600000 разъ больше энергіи, соотвѣтствующій 1 ватту въ секунду. Киловаттъ-часъ—это приблизительно такое же количество энергіи или работы, какое доставляется въ теченіе часа двигателемъ мощностью въ $1\,^1/_3$ паров. лошади.

Для примѣра выразимъ въ ваттахъ и паров. лошадяхъ быстроту расходованія энергіи тока, накаливающаго обыкновенную 16-свѣчную лампочку при силѣ тока въ $^1/_2$ ампѐра и эл. разности въ 100 вольтовъ (см. выше § 585, прим. 1). Произведеніе числа вольтовъ на число ампе́ровъ даетъ $100\times0{,}5=50$ вольтъ-амперовъ или ваттовъ, что соотвѣтствуетъ $50.0{,}1=5$ килограмметр. въ сек., т. е. $^5/_{75}=^1/_{15}$ паров. лошади. Итакъ 15 такихъ лампочекъ поглощаютъ при полномъ накаливаніи энергію, отвѣчающую мощности 1 паровой лошади. Другими словами, еслибы всю теплоту, выдѣляющуюся въ этихъ 15 лампочкахъ, можно было преобразовать въ механическую работу, то въ каждую секунду мы получили бы такое же количество работы, какое въ то же время доставляется двигателемъ въ 1 паровую лошадь.

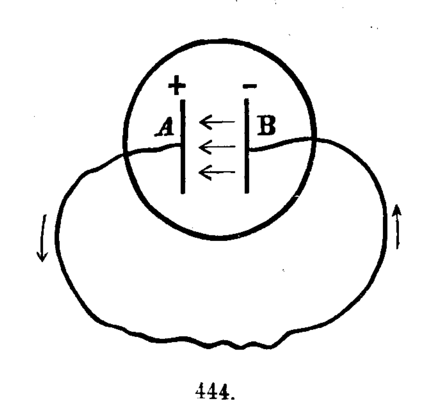
Нѣсколько замѣчаній о гальваническихъ элементахъ и ихъ соединеніи въ батареи.

588. Приборы, называемые гальваническими элементами, производятъ и поддерживаютъ нѣкоторую электрическую разность полюсовъ; когда элементъ замкнутъ, т. е. когда его полюсы соединены внѣшнимъ проводникомъ, совершается преобразованіе энергіи химически-взаимодѣйствующихъ веществъ въ энергію электрическаго тока. Чтобы судить о силѣ тока, доставляемаго элементами, нужно принять во вниманіе слѣдующее.

1) Каждому элементу свойственна своя эл. разность полюсовъ, зависящая отъ тѣлъ, изъ которыхъ онъ составленъ, но не зависящая отъ его размѣровъ. Напр. на полюсахъ хорошо снаряженнаго хромоваго элемента Грене́ эл. разность составляетъ почти 2 вольта, а эл. разность полюсовъ мѣдноцинковыхъ элементовъ, примѣняемыхъ въ телеграфномъ дѣлѣ,—около 1 вольта.

2) Когда элементъ замкнутъ (рис. 444, въ планѣ), совершается, по принятому нами представленію о токѣ, круговое движеніе электричества, причемъ токъ идетъ чрезъ составляющія элементъ твердыя и жидкія тѣла. Сопротивленіе жидкихъ составныхъ частей образуетъ такъ называемое внутреннее сопротивленіе элементовъ (сопротивленіемъ входящихъ въ него твердыхъ тѣлъ можно большею частью принебречь, потому что

оно сравнительно мало). Внутреннее сопротивленіе очень измѣняется въ зависимости отъ состава жидкости, отъ разстоянія пластинокъ (напр. угольной и цинковой въ элементѣ Грене́), т. е. отъ толщины слоя жидкости по направленію BA (см. рис. 444), а также отъ поверхности пластинокъ: чѣмъ больше ихъ поверхность, тѣмъ конечно больше поперечное сѣченіе того слоя жидкости между пластинками B и A, чрезъ который току приходится проходить. (Сравн. съ сопротивленіемъ, которое должна преодолѣвать текущая жидкость въ трубахъ разной ширины; см. также § 581 и рис. 442).



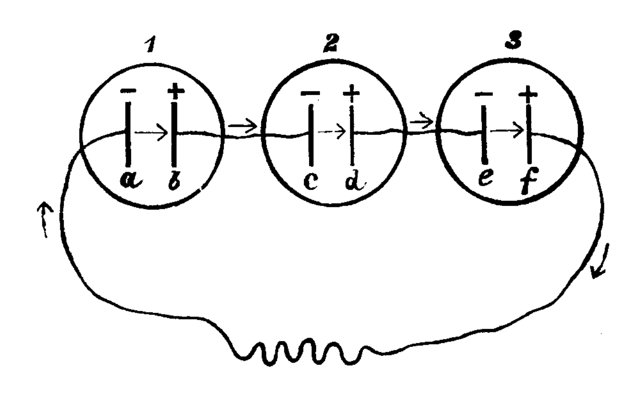
444.

Итакъ, если между полюсами элемента включены тѣ или другіе проводники, то сила тока въ цѣпи будетъ зависѣть 1) отъ эл. разности полюсовъ, 2) отъ общаго сопропротивленія цѣпи, которое слагается a) изъ сопротивленія введенныхъ въ цѣпь тѣлъ и b) изъ внутренняго сопротивленія элемента. Напр., если электр. разность полюсовъ элемента=2 вольтамъ, его внутреннее сопротивленіе = 1 ому и сопротивленіе включеннаго въ цѣпь тѣла тоже 1 омъ (беремъ эти цифры ради простоты разсужденій), то сила тока въ цѣпи $=\frac{2}{1+1}=1$ ампе́ру (см. выше § 585). Если бы сопротивленіе включеннаго въ цѣпь тѣла было вдвое меньше, т. е. $^1/_2$ ома, то сила тока не удвоилась бы, а была бы$=\frac{2}{1+\,^1/_2}=\frac{4}{3}$ амп. Если внѣшнее сопротивленіе станетъ вдвое больше первоначальнаго, т. е. 2 ома, то сила тока не уменьшится во столько же разъ, а будетъ $=\frac{2}{1+2}=\,^2/_3$ амп.

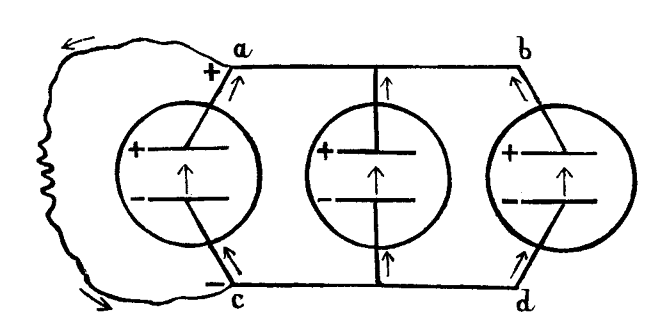
589. Чтобы составить батарею изъ нѣсколькихъ элементовъ, соединяютъ ихъ напр. такъ, какъ показываетъ рис. 445 (въ планѣ), т. е. сообщаютъ между собою проволоками послѣдовательно ихъ разноименные полюсы: положительный перваго съ отрицательнымъ второго, положительный второго съ отрицательнымъ третьяго и т. д.; остающіеся свободными положительный и отрицательный полюсы (f, a) двухъ крайнихъ элементовъ будутъ полюсами батареи. Опытъ показываетъ, что при такомъ послѣдовательномъ соединеніи элементовъ (+ съ —, + съ —, ...) эл. разность полюсовъ прямо складывается (суммируется). Если напр. электрическая разность полюсовъ каждаго отдѣльнаго элемента=2 вольтамъ, то эл. разность полюсовъ f и a (рис. 445) составитъ 6 вольтовъ. Что касается

внутренняго сопротивленія, то оно тоже должно складываться, потому что токъ каждаго элемента проходитъ поочередно чрезъ всѣ элементы.

Но можно соединить элементы и совсѣмъ иначе. Сообщимъ между собою проводникомъ ab всѣ положительные полюсы элементовъ и другимъ проводникомъ (cd) всѣ отрицательные (рис. 446); тогда степень электризаціи всѣхъ положительныхъ полюсовъ останется, какъ у отдѣльнаго элемента, на 2 вольта выше, чѣмъ отрицательныхъ; слѣдов. электрическая разность полюсовъ батареи (a, c) будетъ та же, что одного элемента, т. е. въ нашемъ случаѣ 2 вольта. Каково будетъ здѣсь внутреннее сопротивленіе батареи? Обратимъ вниманіе на то, что токъ теперь развѣтвляется по отдѣльнымъ элементамъ (см. тотъ же рис.) и что слѣдов. ему предоставляется какъ бы болѣе широкій путь; поэтому внутреннее сопротивленіе батареи должно быть меньше, чѣмъ каждаго элемента въ отдѣльности. Если мы соединимъ всѣ положительныя

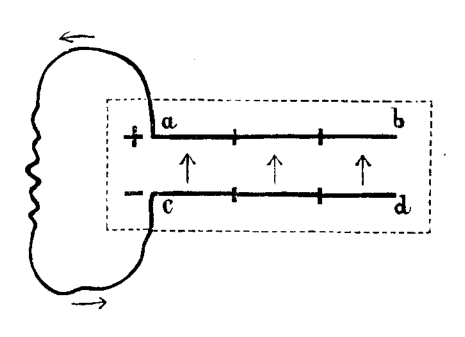


445.



446.

пластинки элементовъ въ одну (ab рис. 447), а всѣ отрицательныя—въ другую (cd), и помѣстимъ ихъ въ одинъ общій сосудъ, то отъ этого конечно ничего не измѣнится; но теперь ясно, что площадь поперечнаго сѣченія слоя жидкости между пластинками (cd и ab), чрезъ который току приходится проходить, стала втрое больше, чѣмъ у каждаго отдѣльнаго элемента; отъ этого сопротивленіе слоя, какъ именно показываетъ опытъ, въ три раза уменьшается. Разобранное здѣсь соединеніе элементовъ называется параллельнымъ.



447.

Итакъ при послѣдовательномъ соединеніи электрическая разность полюсовъ возрастаетъ во столько разъ, сколько взято элементовъ, и во столько же разъ увеличивается внутреннее сопротивленіе. При параллельномъ соединеніи электрическая разность полюсовъ не измѣняется, а внутреннее сопротивленіе становится меньше во столько разъ, сколько элементовъ въ батареѣ.

590. Сила тока, доставляемая батареей, конечно будетъ зависѣть 1) отъ сопротивленія тѣлъ, включенныхъ въ цѣпь, 2) отъ электрической разности и внутренняго сопротивленія батареи—величинъ, которыя, какъ мы только что видѣли, очень измѣнчивы въ зависимости отъ способа соединенія взятыхъ элементовъ. Вотъ два примѣра.

Имѣются 50 элементовъ съ электрической разностью полюсовъ въ 2 вольта и внутреннимъ сопротивленіемъ въ $^1/_2$ ома. Сравнимъ между собою силу тока при включеніи человѣческаго тѣла, сопротивленіе котораго примемъ за 10000 омовъ, въ цѣпь одного элемента и въ цѣпь батареи изъ всѣхъ 50 элементовъ. Токъ въ случаѣ 1 элемента $=\frac{2}{10000+^1/_2}$ амп. или $^1/_{5000}$ амп. (если отбросить въ знаменателѣ сравнительно ничтожную дробь $^1/_2$). Сила тока отъ батареи связана со способомъ соединенія элементовъ. *А*) Послѣдовательное соединеніе: электрическая разность полюсовъ батареи $50\times2=100$ вольт., внутреннее сопротивленіе $50\times{}^1/_2=25$ омовъ; слѣдовательно токъ при включеніи внѣшняго сопротивленія въ 10000 омовъ будетъ $\frac{100}{10000+25}$ амп., или (отбросивъ сравнительно малое число 25 въ знаменателѣ) $^1/_{100}$ амп., т. е. въ 50 разъ сильнѣе, чѣмъ въ случаѣ одного элемента. *В*) Параллельное соединеніе: электрическая разность 2 вольта, какъ у одного элемента, внутреннее же сопротивленіе

въ 50 разъ меньше, чѣмъ 1 элемента, т. е. $= {}^{1}/_{100}$ ома; слѣдовательно искомый токъ $= \frac{2}{10000 + {}^{1}/_{100}}$ амп. $= {}^{1}/_{5000}$ амп., т. е. при параллельномъ соединеніи въ этомъ случаѣ ничего не выигрывается въ токѣ.

Пусть тѣ же элементы служатъ для нагрѣванія короткаго толстаго металлическаго стержня, сопротивленіе котораго сравнительно съ внутреннимъ очень мало, напр. ${}^{1}/_{10000}$ ома. Токъ въ случаѣ 1 элемента былъ бы $= \frac{2}{{}^{1}/_{10000} + {}^{1}/_{2}}$ амп. или, если отбросить ${}^{1}/_{10000}$ въ знаменателѣ, 4 амп.—*A*) При послѣдовательномъ соединеніи 50 элементовъ и включеніи сопротивленія въ ${}^{1}/_{10000}$ ома, мы имѣли бы $\frac{2.50}{{}^{1}/_{10000} + 25}$ амп., или тѣ же 4 ампéра. *B*) При параллельномъ соединеніи, напротивъ, токъ былъ бы $= \frac{2}{{}^{1}/_{10000} + {}^{1}/_{100}}$ амп., или около 200 амп., т. е. приблизительно въ 50 разъ сильнѣе, чѣмъ при 1 элементѣ.

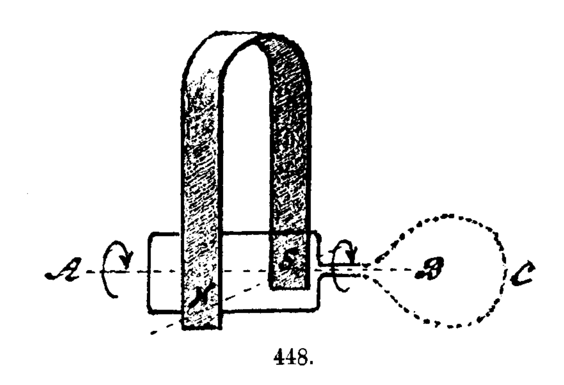
Изъ этихъ примѣровъ,—въ которыхъ, для упрощенія и ясности выводовъ, включаемое сопротивленіе нарочно было взято или очень большимъ, или очень малымъ сравнительно съ внутреннимъ сопротивленіемъ элемента и батареи,—видно, что при соединеніи источниковъ тока въ батарею съ цѣлью получить возможно сильный токъ приходится прибѣгать къ тому или иному способу ихъ соединенія, смотря по обстоятельствамъ. Кромѣ послѣдовательнаго и параллельнаго соединенія всѣхъ элементовъ, можно дѣлать еще различныя промежуточныя—смѣшанныя—соединенія; но мы считаемъ излишнимъ входить здѣсь въ дальнѣйшія подробности.

Объ электромагнитной индукціи и индукціонныхъ токахъ.

591. Вернемся теперь къ тому способу возбужденія электрическаго тока, о которомъ кое-что было сказано въ § 573 и который по важности заслуживаетъ болѣе подробнаго разсмотрѣнія. Если замкнутый проводникъ перемѣщать извѣстнымъ образомъ въ магнитномъ полѣ (или послѣднее перемѣщать относительно проводника), то въ проводникѣ, во время его перемѣщенія, возникаетъ токъ—насчетъ той работы, которая расходуется на преодолѣніе нѣкотораго особаго сопротивленія, встрѣчаемаго проводникомъ во время движенія. Прибавка „извѣстнымъ образомъ“ очень существенна. Изъ нѣсколькихъ примѣровъ, приведенныхъ раньше (§§ 505 и 568), мы видѣли, что магнитному полю надо приписать нѣкоторое „строеніе“,—что не всякое направленіе въ немъ тожественно со всякимъ другимъ. Въ проводникѣ, какъ именно показываетъ опытъ, только тогда можетъ возникнуть индукціонный токъ, когда проводникъ при движеніи пересѣкаетъ силовыя линіи магнитнаго поля; въ случаѣ движенія вдоль

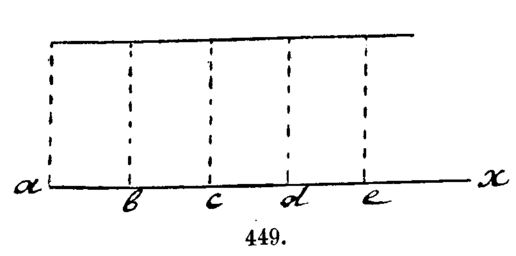
силовыхъ линій, работы на перемѣщеніе не затрачивается, и тока не возникаетъ [1].

Но далѣе, съ тѣмъ или инымъ перемѣщеніемъ проводника въ магнитномъ полѣ связано направленіе тока въ проводникѣ. Такъ въ описанномъ выше индукціонномъ опытѣ съ магнитомъ (§ 573, рис. 437) перемѣщеніе проводника *ab* внизъ возбуждаетъ токъ одного, а вверхъ—противоположнаго направленія. Положимъ, что между полюсами магнита (рис. 448) вращается вокругъ оси *AB* проволочный проводникъ, имѣющій видъ кольца или прямоугольника и замкнутый какимъ нибудь внѣшнимъ проводникомъ (пунктирная линія *C*). Въ такомъ случаѣ направленіе тока въ проволочномъ проводникѣ будетъ мѣняться, какъ только онъ своею плоскостью станетъ подъ прямымъ угломъ къ линіи, соединяющей полюсы магнита (положеніе, которое именно изображено на рисункѣ).



448.

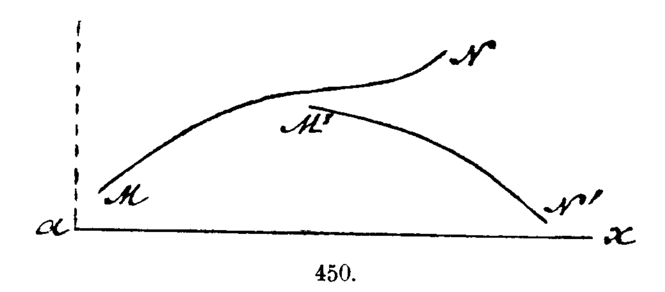
592. Для характеристики происходящихъ такимъ образомъ токовъ очень удобенъ слѣдующій графическій способъ ихъ изображенія. Отложимъ на горизонтальной прямой *ax* (рис. 449) рядъ равныхъ отрѣзковъ, которые пусть будутъ изображать собою равные промежутки времени, а на перепендикулярахъ, возстановленныхъ изъ то-



449.

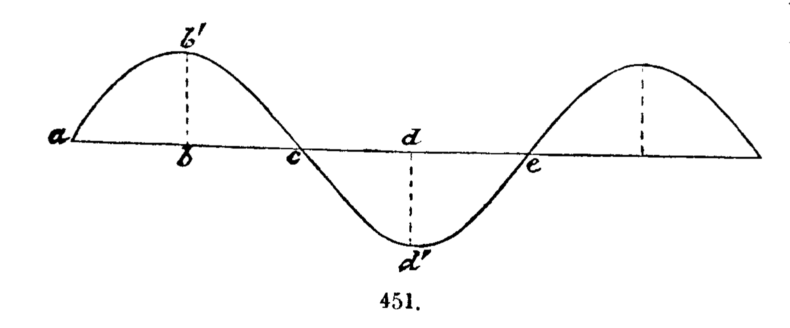
[1] Въ случаѣ очень сильнаго магнитнаго поля сопротивленіе, встрѣчаемое проводникомъ, пересѣкающимъ силовыя линіи, можетъ быть весьма значительно. Если толстый мѣдный брусокъ двигать рукою между полюсами сильнаго электромагнита, поперекъ прямой, соединяющей его полюсы, то получается такое ощущеніе, какъ будто брусокъ находится въ вязкой жидкости, и сопротивленіе становится тѣмъ ощутительнѣе, чѣмъ быстрѣе мы пробуемъ двигать проводникъ. При достаточно быстромъ движеніи (помощью особаго механизма) можно достичь того, что проводникъ станетъ накаливаться вслѣдствіе значительнаго развитія теплоты насчетъ затрачиваемой работы,—какъ будто бы происходило какое то треніе между проводникомъ и окружающею средою (но конечно не воздухомъ, присутствіе котораго здѣсь вовсе и не нужно). Подобный опытъ оставляетъ неизгладимое впечатлѣніе: онъ точно даетъ намъ возможность осязать тѣ натяженія въ эфирѣ, которыя обозначаются „силовыми линіями“ магнитнаго поля.

чекъ *a*, *b*, *c*, . . . — отрѣзки, которые изображали бы, въ опредѣленномъ масштабѣ, силу тока въ моменты, соотвѣтствующіе точкамъ *a*, *b*, *c*, . . . Токъ постоянной силы представится тогда прямой параллельной *ax* (рис. 449), токъ возрастаю-



450.

щей силы — нѣкоторой кривой линіей *MN* (рис. 450), идущей вверхъ, а токъ убывающей силы — кривою *M'N'*, опускающейся къ *ax*. Условимся кромѣ того изображать перпендикулярами, проведенными вверхъ отъ горизонтальной прямой, токъ одного направленія, а проведенными внизъ — токъ противоположнаго направленія. Послѣ этого будетъ понятно, какого рода токъ характеризуется волнистою линіей, начерченной на рис. 451. Мы видимъ, что сперва токъ возрастаетъ отъ нуля (соотвѣтственно части *ab'* кривой), потомъ убываетъ до нуля (соотвѣтственно *b'c*); затѣмъ, измѣнивъ направленіе, возрастаетъ (*cd'*) и наконецъ снова убываетъ до нуля (*d'e*), что-

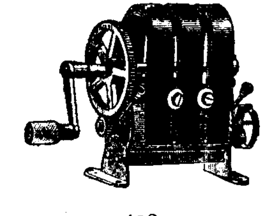


451.

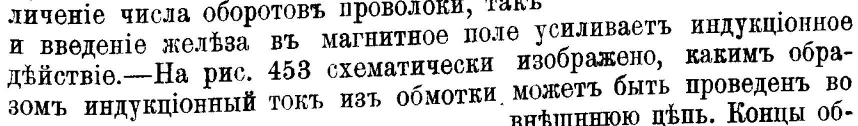
бы принять первоначальное направленіе, и т. д. Токъ, характеризуемый горизонтальной прямой линіей (рис. 449), называется постояннымъ; таковъ приблизительно токъ гальваническихъ элементовъ и аккумуляторовъ (при выполненіи надлежащихъ условій, внѣ которыхъ токъ, сохраняя одно и то же направленіе, можетъ значительно измѣняться въ силѣ съ теченіемъ времени). Волнистая же линія рис. 451 соотвѣтствуетъ току, который на-

зывается періодически-перемѣннымъ или короче перемѣннымъ токомъ; эта кривая линія можетъ служить типическимъ изображеніемъ тока, доставляемаго многими индукціонными аппаратами, въ которыхъ не принято мѣръ, чтобы придавать току во внѣшней цѣпи одно и то же направленіе (объ этомъ ниже): но видъ ея въ подробностяхъ можетъ быть въ разныхъ случаяхъ очень различенъ. Промежутокъ времени, послѣ котораго токъ снова принимаетъ свое прежнее направленіе и прежнюю силу (соотвѣтственно отрѣзку *ae* на рис. 451), называется его періодомъ. Напр. токъ, доставляемый большими центральными станціями для электрическаго освѣщенія, чаще всего имѣетъ періодъ около 1/50 секунды, т. е. соотвѣтствуетъ 50 періодамъ или 100 перемѣнамъ направленія въ секунду.

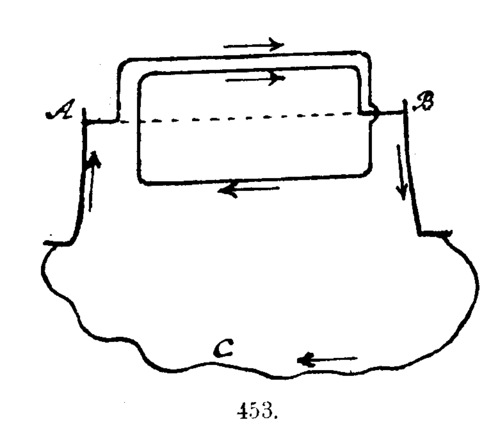
593. Изображенный выше, на рис. 448, способъ возбужденія индукціоннаго тока даетъ намъ достаточное понятіе о маленькомъ приборѣ, производящемъ токъ перемѣннаго направленія при вращеніи его рукоятки (рис. 452). Въ магнитномъ полѣ нѣсколькихъ стальныхъ подковообразныхъ магнитовъ можетъ быстро вращаться желѣзный валикъ съ двумя продольными выемками, заполненными обмоткою изъ многихъ оборотовъ изолированной мѣдной проволоки; каждый оборотъ проволоки представляетъ собою одно изъ тѣхъ колецъ, какое изображено было на рисункѣ 448. Какъ увеличеніе числа оборотовъ проволоки, такъ



452.



и введеніе желѣза въ магнитное поле усиливаетъ индукціонное дѣйствіе.—На рис. 453 схематически изображено, какимъ образомъ индукціонный токъ изъ обмотки можетъ быть проведенъ во внѣшнюю цѣпь. Концы обмотки выпущены наружу по оси вращенія и въ точкахъ *A*, *B* соприкасаются съ пружинящими мѣдными пластинками, посредствомъ которыхъ обмотка сообщается съ внѣшнею цѣпью *C*.



453.

Электризація зажимовъ такой машинки, періодически усиливаясь и ослабляясь, мѣняетъ знакъ при каждомъ полуоборотѣ обмотки. Но наибольшая разность, достигаемая при быстромъ вращеніи, гораздо больше, чѣмъ на полюсахъ гальваническаго элемента. Индукціонные токи машинки производятъ судорожное сокращеніе

мышцъ, если приложить концы пальцевъ (смочивъ ихъ) къ обоимъ зажимамъ [1].

594. Дѣйствія перемѣннаго тока во многихъ отношеніяхъ отличаются отъ дѣйствій постояннаго. Понятно, что всѣ явленія, въ которыхъ то или иное направленіе тока имѣетъ существенное значеніе,—каковы напр. явленія обычнаго намагничиванія или электролиза,—будутъ происходить совсѣмъ иначе, когда направленіе тока періодически измѣняется. Отъ направленія тока не зависитъ только нагрѣваніе и накаливаніе проводниковъ; вотъ почему перемѣнные токи и могутъ быть примѣняемы для электрическаго освѣщенія.

Подъ силой перемѣннаго тока подразумѣваютъ нѣкоторую среднюю его величину, ибо токъ періодически измѣняется по силѣ. То же самое относится и до электрической разности, производящей токъ. Измѣрительные приборы въ случаѣ перемѣннаго тока должны быть вообще устроены иначе, нежели для тока постояннаго направленія; напр. по весьма понятной причинѣ приборы съ магнитной стрѣлкой (какъ гальванометры, § 563) здѣсь непригодны. Одинъ изъ весьма употребительныхъ способовъ измѣренія силы перемѣннаго тока основывается на нагрѣваніи натянутой тонкой проволоки: натяженіе ея тогда ослабляется, а это влечетъ за собою перемѣщеніе механизма, движущаго стрѣлку по циферблату. Такъ или иначе, можно выразить въ амперахъ среднюю силу перемѣннаго тока, а въ вольтахъ—среднюю величину электрической разности.

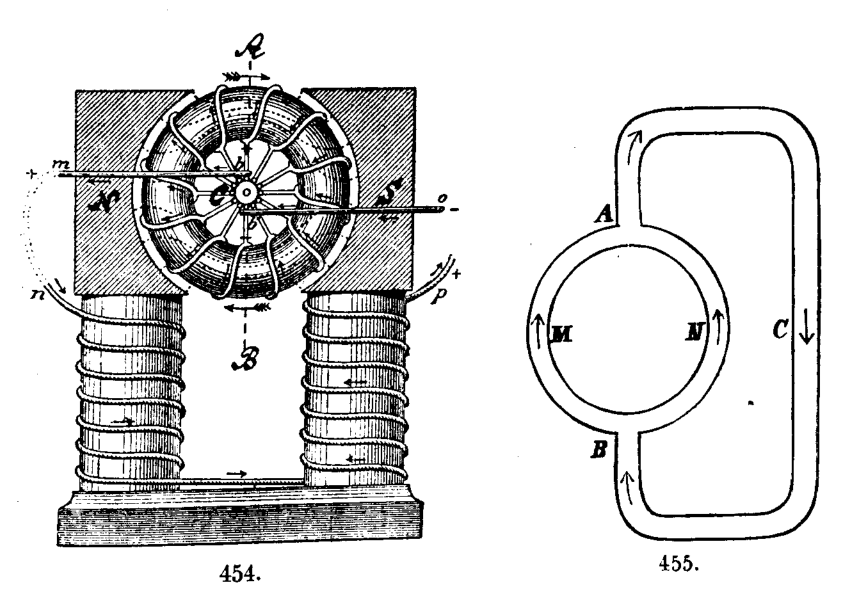
Кромѣ упомянутыхъ выше особенностей, перемѣнные токи представляютъ еще много другихъ, довольно трудныхъ для элементарнаго изложенія, почему здѣсь и приходится ограничиться лишь очень немногимъ.

595. Индукціонному току во внѣшней цѣпи можно придать одно неизмѣнное направленіе, какъ говорится, выпрямить его, и тогда токъ годится для производства опытовъ, въ которыхъ нуженъ постоянный токъ. Разсмотримъ, какъ выпрямленіе тока производится въ магнитоэлектрической машинѣ Грамма, которой мы выше уже пользовались для опытовъ (§ 573).

[1] Индукціонныя машинки описаннаго здѣсь типа нынѣ весьма распространены въ техникѣ и потому очень доступны по цѣнѣ. Онѣ даютъ превосходное средство показать самый фактъ возбужденія перемѣннаго тока индукціей безъ всякаго гальваноскопа (которымъ здѣсь служитъ организмъ того, кто прикасается къ зажимамъ). Но онѣ не могутъ служить для ближайшей характеристики примѣняемаго въ большомъ видѣ перемѣннаго тока, наростаніе и убываніе котораго совершается иначе—не столь рѣзкими скачками (болѣе или менѣе приближаясь къ графикѣ рис. 451).

Относительно дѣйствія тока на животный организмъ надо замѣтить, что сокращеніе мышцъ производится и постояннымъ токомъ; но оно становится ощутительнымъ лишь отъ батареи изъ многихъ гальваническихъ элементовъ.

Рис. 454 представляетъ машину въ упрощенномъ видѣ, чтобы сдѣлать болѣе понятнымъ значеніе отдѣльныхъ ея частей. Между полюсами *N*, *S* сильнаго магнита (или электромагнита, какъ изображено на рисункѣ) можетъ вращаться желѣзное кольцо, обмотанное изолированной мѣдной проволокой. При вращеніи кольца, обороты обмотки перемѣщаются въ магнитномъ полѣ такимъ образомъ, что въ нихъ наводятся электрическіе токи. Если мысленно раздѣлимъ кольцо на двѣ равныя части по *AB*, перпендикулярно прямой *NS*, то оказывается, что индукціонные токи имѣютъ направленіе одинаковое во всѣхъ оборотахъ одной и той же половины кольца, но противоположное въ обѣихъ половинахъ. Ихъ можно соединить въ одинъ общій токъ. Представимъ



454. 455.

себѣ круговой каналъ *AB* (рис. 455), въ обѣихъ половинахъ котораго двигатели *M* и *N* гонятъ воду по направленію стрѣлокъ, такъ что потоки встрѣчаются въ *A*; если здѣсь дать имъ общій выходъ по трубѣ *ACB*, другой конецъ которой присоединенъ къ круговому каналу въ *B*, то произойдетъ общій замкнутый токъ жидкости, какъ показываютъ стрѣлки на рисункѣ. Что касается индукціонныхъ токовъ правой и лѣвой половинъ обмотки, то для соединенія ихъ въ одинъ общій токъ служитъ приспособленіе *C* (см. рис. 454), называемое коллекторомъ (т. е. собирателемъ). Это—рядъ мѣдныхъ пластинокъ, укрѣпленныхъ съ небольшими промежутками по окружности валика; послѣдній сдѣланъ изъ матерьяла, изолирующаго пластинки одну отъ другой. Каждая пластинка соединена радіальной проволокой съ соотвѣтствующимъ ей оборотомъ обмотки желѣзнаго кольца, а на

діаметрально противоположныя пластинки налегаютъ плоскіе проводники b, b', называемые **щетками**; щетки сообщаются при помощи зажимныхъ винтовъ, не изображенныхъ на рисункѣ, съ проводами, образующими замкнутую внѣшную цѣпь, которую надо представить себѣ присоединенной въ точкахъ m и o. Такимъ образомъ токи обѣихъ половинъ обмотки, имѣя общій выходъ по радіальной проволокѣ, соотвѣтствующей щеткѣ b, сливаются въ одинъ, который идетъ, чрезъ эту щетку по внѣшней цѣпи, а оттуда чрезъ щетку b'—снова въ обѣ половины обмотки. Коллекторъ насаженъ на одну общую ось съ кольцомъ, такъ что вертится вмѣстѣ съ нимъ. Когда чрезъ положеніе A проходятъ одинъ за другимъ обороты обмотки, пластинки коллектора соотвѣтственно смѣняются, и щетки остаются наложенными на тѣ двѣ пластинки коллектора, которыя отвѣчаютъ мѣстамъ слиянія и развѣтвленія токовъ. Итакъ машина при вращеніи кольца даетъ во внѣшней цѣпи токъ одного и того же направленія. (О значеніи добавочнаго проводника mn, обозначеннаго на рисункѣ пунктиромъ, будетъ сказано ниже). Внѣшній видъ магнитоэлектрической машины Грамма обычнаго типа и ея кольца съ обмоткою и коллекторомъ см. рис. 438 и 439.

596. Стальной магнитъ машины Грамма конечно можно съ успѣхомъ замѣнить **электромагнитомъ**, что повело бы къ усиленію магнитнаго поля, но потребовало бы отдѣльнаго источника (напр. гальваническихъ элементовъ) для намагничиванія желѣза. Оказалось однако, что можно обойтись и безъ посторонняго тока. Въ самомъ дѣлѣ, разъ намагнитивъ желѣзо, хотя бы и слабо, можно **поддерживать и усиливать его намагниченіе токомъ самой же** машины. Осуществленіе этой замѣчательной идеи повело къ построенію машинъ, преобразовывающихъ механическую работу въ электрическій токъ **безъ всякаго участія постоянныхъ магнитовъ и посторонняго тока**. Нѣкоторое „остаточное намагниченіе“ свойственно всякимъ сортамъ продажнаго желѣза, подвергавшагося магнитному дѣйствію; болѣе того: желѣзо всегда бываетъ слабо намагничено магнитнымъ полемъ земли (§ 502). Представимъ себѣ теперь, что кольцо Грамма вращается между полюсами такого, хотя бы и очень слабаго, желѣзнаго магнита: оно произведетъ сперва очень слабый токъ. Но дадимъ этому току проходить **по проволочной обмоткѣ, намотанной на вѣтви желѣзнаго магнита**: намагниченіе желѣза тотчасъ усилится, слѣдов. усилится магнитное поле, въ которомъ вращается кольцо, а это повлечетъ за собою и усиленіе индукціоннаго тока; отсюда дальнѣйшее усиленіе магнитнаго поля и тока, доставляемаго машиною... Въ короткое время, какъ показываетъ опытъ, электромагнитъ достигаетъ такимъ образомъ наибольшей силы, какая при данныхъ условіяхъ возможна, и машина работаетъ „во всю“. На рис. 454 пунктиромъ именно намѣчена соединительная проволока mn, по которой токъ изъ кольца поступаетъ

въ обмотку электромагнита; **внѣшнюю цѣпь** надо себѣ теперь представить между точками p и o. Такимъ образомъ магнитоэлектрическая машина превращается въ **динамо-электрическую**. Нѣкоторыя подробности о динамоэлектрическихъ машинахъ будутъ сообщены въ слѣдующей главѣ [1].

597. Магнитоэлектрическая машина становится **электродвигателемъ**, если въ обмотку ея кольца пропустить эл. токъ (§ 575). Такую же роль можетъ принять на себя и динамо-машина. Чтобы до нѣкоторой степени представить себѣ, въ чемъ здѣсь дѣло, припомнимъ, что взаимное дѣйствіе концовъ двухъ магнитовъ (притяженіе и отталкиваніе), по принятому въ наукѣ взгляду, разсматривается какъ **дѣйствіе поля одного магнита на поле другого** (§ 505). Замѣнивъ одинъ изъ магнитовъ **спиральнымъ токомъ**, можно наблюдать точно такое же взаимодѣйствіе, о чемъ уже упомянуто въ § 564. Ничто не мѣшаетъ взять спиральный токъ и вмѣсто другого магнита: два спиральныхъ тока будутъ притягиваться или отталкиваться,—какъ два магнита,—смотря по направленію тока въ концахъ спиралей. Здѣсь мы имѣемъ **взаимодѣйствіе между магнитнымъ полемъ одного тока и магнитнымъ полемъ другого**. Одинъ изъ случаевъ взаимодѣйствія двухъ магнитныхъ полей мы именно встрѣчаемъ въ электродвигателяхъ, о которыхъ идетъ рѣчь. Когда въ обмотку машины пропускаютъ токъ, вокругъ якоря и вокругъ электромагнита возникаетъ по магнитному полю, которыя и дѣйствуютъ другъ на друга. Оба магнитныхъ поля, вмѣстѣ взятыя, являются какъ бы аппаратомъ, чрезъ посредство котораго энергія эл. тока преобразовывается въ механическую. Для удобопримѣнимости электродвигателей чрезвычайно важно именно то, что надлежащимъ расположеніемъ обмотокъ достигнуто непрерывное **вращательное** движеніе.

Мы видѣли, что вращеніе якоря въ магнитномъ полѣ встрѣчаетъ **противодѣйствіе**, какъ будто якорь стремился повернуться въ сторону противоположную той, въ которую его хотятъ вращать. **Направленіе тока, индуктируемаго въ обмоткѣ, оказывается всегда такимъ, что взаимодѣйствіе его магнитнаго поля съ полемъ электромагнита противится движенію обмотки.** А отсюда уже ясно, что при

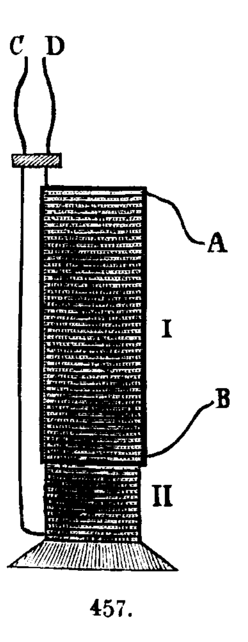
[1] Мимоходомъ интересно упомянуть, что и при движеніи замкнутыхъ проводниковъ **въ магнитномъ полѣ земли**, въ нихъ могутъ возникать индукціонные токи, хотя и весьма слабые. Если проволочную обмотку надлежащимъ образомъ вращать въ магнитномъ полѣ земли (такъ, чтобы она пересѣкала силовыя линіи земного магнитнаго поля), то въ проволокѣ наводятся токи, которымъ можно придать во внѣшней цѣпи постоянное направленіе; получаемый такимъ образомъ токъ обнаруживается чувствительнымъ гальваноскопомъ. Измѣреніемъ этихъ токовъ при опредѣленныхъ условіяхъ удается даже сравнивать напряженность земного магнитнаго поля въ разныхъ точкахъ земной поверхности.

пропусканіи въ машину тока именно этого направленія якорь будетъ вращаться въ противоположную сторону.

Возбужденіе индукціонныхъ токовъ токами.

598. Обратимся теперь къ другому способу возбужденія индукціонныхъ токовъ, который имѣетъ много общаго съ предыдущимъ, хотя и можетъ показаться съ перваго взгляда совсѣмъ инымъ. 1) Пусть вдоль проволоки *AB* расположена на близкомъ разстояніи другая проволока *CD*, составляющая часть замкнутой цѣпи II (рис. 456). Если чрезъ *AB* пропустить разрядъ лейденской банки (*E*), то во второй цѣпи возникаетъ мгновенный электрическій токъ, обнаруживающійся напр. появленіемъ искры въ перерывѣ *F*. Для усиленія дѣйствія, берутъ проволоки *AB* и *CD* возможно длинными и помѣщаютъ ихъ какъ можно ближе одна къ другой. Вотъ простой и удобный приборъ для этой цѣли (рис. 457). На деревянный цилиндръ съ винтовой нарѣзкой наматывается спирально мѣдная проволока (II) съ выступающими концами *C*, *D*. (Концы проволокъ могутъ быть удалены или приближены передвиганіемъ насаженной на нихъ перемычки изъ куска пробки). На эту спираль надѣвается цилиндрическое ламповое стекло, а поверхъ него—другая такая же мѣдная спираль I съ концами *A*, *B* (на рисункѣ для ясности наружная спираль I вмѣстѣ со стекломъ изображена немного приподнятою). Въ моментъ разряда лейденской банки чрезъ спираль I, въ промежуткѣ *C-D* внутренней спирали появляется искра индукціоннаго разряда.

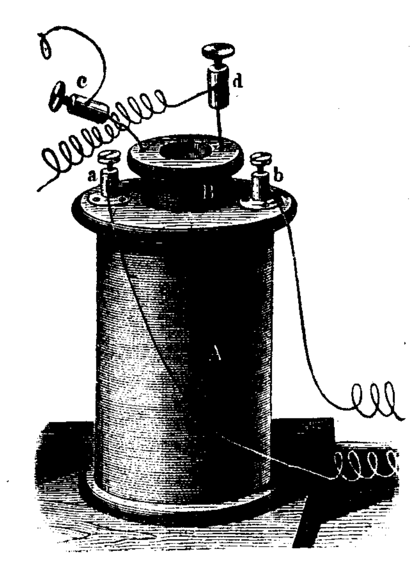
456.



457.

2) Спираль изъ толстой изолированной мѣдной проволоки *B* окружаютъ обмоткою изъ многихъ слоевъ длинной и тонкой изолированной проволоки *A*, концы которой присоединены къ винтовымъ зажимамъ *a*, *b* (рис. 458). Первую (внутреннюю) спираль включаютъ въ цѣпь одного или двухъ элементовъ Грене́ чрезъ посредство зажимовъ *c*, *d*. Въ моментъ замыканія тока

элементовъ, въ спирали *A* появляется индукціонный токъ, производящій судорожное сокращеніе мышцъ, если взять въ обѣ руки концы проволокъ, идущихъ отъ зажимовъ *a*, *b*. Затѣмъ индукціонное дѣйствіе тока, продолжающаго проходить въ цѣпи *B*, прекращается. Но въ моментъ его размыканія, въ проводникѣ *A* снова пробѣгаетъ мгновенный электрическій токъ.



458.

Ниже мы будемъ называть индуктирующимъ, наводящимъ или первичнымъ тотъ токъ, который служитъ для индукціоннаго дѣйствія, а индукціоннымъ, наведеннымъ или вторичнымъ—токъ, возникающій чрезъ индукцію. Самые проводники тоже соотвѣтственно называютъ первичнымъ и вторичнымъ [1].

599. При болѣе обстоятельныхъ опытахъ индукціонные токи обнаруживаются и изслѣдуются помощью гальваноскоповъ и гальванометровъ. Нѣкоторыя особенности явленія видны уже изъ описанныхъ выше наблюденій. 1) Токъ во вторичномъ проводникѣ происходитъ какъ въ моментъ замыканія первичнаго тока, такъ и въ моментъ его размыканія; 2) пока токъ неизмѣннымъ образомъ проходитъ по первичному проводнику, индукціонныхъ явленій не наблюдается. Сюда надо еще добавить, что 3) токи, возникающіе при замыканіи и размыканіи первичнаго тока, имѣютъ направленія противоположныя другъ другу (для краткости ихъ называютъ токами „замыканія“ и „размыканія“); 4) индукціонное дѣйствіе наблюдается не только въ моменты возникновенія или прекращенія первичнаго тока, но при всякомъ измѣненіи его силы; замыканіе и размыканіе первичнаго тока являются лишь крайними случаями, при которыхъ индукціонныя дѣйствія наиболѣе рѣзки.

Такъ какъ замыканіе и размыканіе первичнаго тока сопровож-

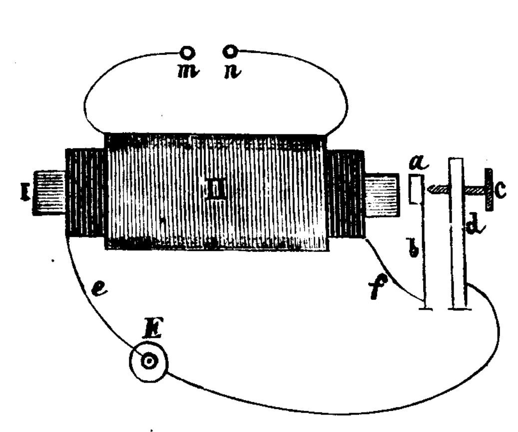
---

[1] При опытахъ, для болѣе тѣснаго соприкосновенія проводниковъ съ поверхностью кожи, лучше брать въ руки не самыя проволоки, а мѣдныя рукоятки (трубки), къ которымъ прикрѣплены ихъ концы. Если дѣйствіе слишкомъ слабо, смачиваютъ руки солянымъ растворомъ.—Быстрое замыканіе и прерываніе первичнаго тока проще всего производится такимъ образомъ, что конецъ одной проволоки плотно прижимаютъ къ напилку съ грубой насѣчкой, а концомъ другой проводятъ по насѣчкѣ.

дается возникновеніемъ и исчезновеніемъ *магнитнаго поля* вокругъ тока, то отсюда уже видна связь этихъ индукціонныхъ явленій съ разсмотрѣнными раньше. Производя магнитное поле вокругъ вторичнаго проводника, мы какъ бы вносимъ послѣдній въ магнитное поле, а уничтожая магнитное поле, мы какъ бы выносимъ изъ него проводникъ. Въ дальнѣйшія подробности мы вдаваться не будемъ.

Необходимо лишь напомнить, что *магнитное поле усиливается введеніемъ въ него желѣза* (§§ 565 и 568). Если внутрь катушки, которой мы пользовались выше (§ 598, оп. 2), вставить стержень изъ мягкаго желѣза, то при замыканіи и размыканіи тока индукціонное дѣйствіе сдѣлается значительно сильнѣе. Мало того. Замкнемъ токъ и дадимъ ему неизмѣннымъ образомъ проходить по первичной обмоткѣ: тогда, какъ мы уже видѣли, индукціи нѣтъ. Но кратковременный индукціонный токъ тотчасъ возникаетъ, если внутрь катушки внести желѣзо, а обратный ему токъ произойдетъ при выниманіи желѣза (явленія эти можно обнаружить посредствомъ подходящаго гальваноскопа).

600. На только что разсмотрѣнныхъ индукціонныхъ явленіяхъ основывается дѣйствіе очень интереснаго прибора, называемаго *индукціонной спиралью* или *индукціонной катушкою Румкорфа*. Она представляетъ собою усовершенствованіе того болѣе простого приспособленія, которымъ мы уже пользовались для возбужденія индукціонныхъ токовъ дѣйствіемъ гальваническаго элемента (§ 598, оп. 2). Въ составъ прибора входятъ двѣ спиральныя обмотки изъ изолированной мѣдной проволоки, вложенныя одна внутрь другой: внутренняя — изъ короткой и толстой проволоки, наружная—изъ гораздо болѣе длинной и очень тонкой; обмотки окружаютъ собою сердечникъ изъ мягкаго желѣза (пучекъ тонкихъ желѣзныхъ проволокъ). На упрощенномъ рис. 459 первичная (толстая) обмотка вмѣстѣ съ желѣзнымъ сердечникомъ обозначена цифрою I, а вторичная (въ дѣйствительности состоящая изъ многихъ слоевъ или рядовъ) цифрою II; ради ясности, первая изображена выставляющеюся изъ второй своими концами. Одна изъ особенностей прибора—та, что *очень быстрое замыканіе и размыканіе наводящаго тока производится самимъ же токомъ*, посредствомъ самодѣйствующаго (автоматическаго) прерывателя. Въ аппаратахъ меньшихъ размѣровъ онъ обыкновенно устраивается слѣдующимъ образомъ.

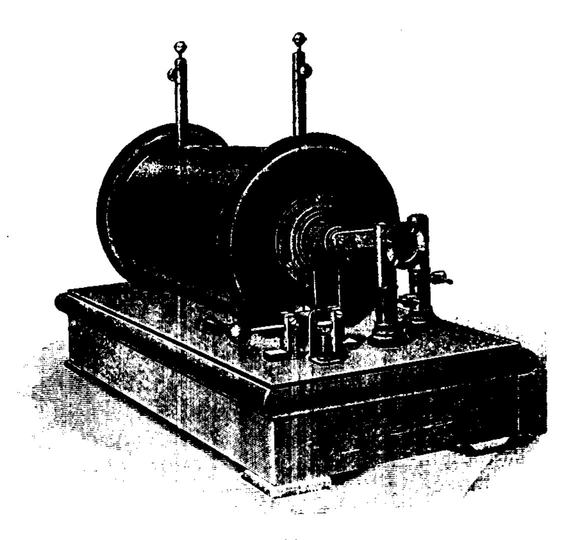


459.

Противъ одного изъ концовъ желѣзнаго сердечника, на близкомъ разстояніи, находится пластинка изъ мягкаго желѣза *a*, прикрѣпленная къ упругой мѣдной пластинкѣ (пружинкѣ) *b*; къ послѣдней прикасается заостренный конецъ винтика *c*, проходящаго чрезъ мѣдную стойку *d*. Токъ отъ одного или нѣсколькихъ элементовъ (*E*) по проволокѣ *e* проходитъ чрезъ внутреннюю (первичную) обмотку, откуда по соединительной части *f*, пружинкѣ *b*, винтику и стойкѣ *d* идетъ обратно къ элементамъ. При проходѣ тока чрезъ внутреннюю спираль, желѣзный сердечникъ намагничивается и притягиваетъ желѣзную пластинку *a*: пружинка *b*, немного сгибаясь, отходитъ отъ конца винтика *c*, и токъ прерывается. Какъ только это случится, сердечникъ размагнитится, желѣзная пластинка будетъ оттянута пружинкой обратно, прикосновеніе съ винтомъ возстановится, и токъ опять будетъ замкнутъ. Слѣдов. желѣзная пластинка опять притянется, токъ прервется и т. д. Такимъ образомъ токъ самъ собою замыкается и прерывается много разъ въ секунду.[1] Въ моменты замыканія и размыканія первичнаго тока, во вторичной обмоткѣ спирали (II) возникаютъ индукціонные токи, могущіе дать рядъ искръ въ перерывѣ *m-n*.

Болѣе полное представленіе о внѣшности аппарата Румкорфа даетъ рис. 460.

601. Аппараты меньшихъ размѣровъ при дѣйствіи нѣсколькихъ гальваническихъ элементовъ уже легко даютъ искру въ 5—10 сантиметровъ, а наибольшія изъ изготовляемыхъ нынѣ спиралей (при надлежащихъ источникахъ тока) разряжаются страшными искрами *свыше 2 аршинъ* (1½ метра) длиною. Съ перваго взгляда кажется, что аппаратъ какъ бы создаетъ новое количество энергіи, сверхъ



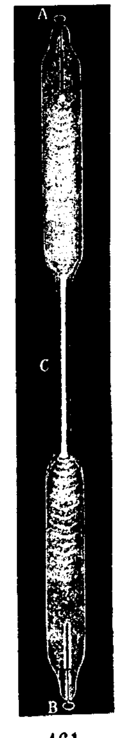
460.

[1] Сходное устройство имѣетъ прерыватель въ обыкновенныхъ электрическихъ звонкахъ; имъ именно производится быстрая „дробь" ударника по колокольчику.

того, какое свойственно наводящему току. Въ дѣйствительности же совершается лишь преобразованіе энергіи—въ извѣстныхъ отношеніяхъ сходное съ тѣмъ, какое можетъ быть произведено во многихъ другихъ случаяхъ, напр. при использованіи энергіи движущейся воды. Положимъ, что вода падаетъ съ высоты 1 метра въ количествѣ 75 килограммовъ ежесекундно; такая струя способна произвести въ секунду работу въ 75 килограмметровъ, что соотвѣтствуетъ мощности 1 паровой лошади. Но если увеличить разность уровней, въ предѣлахъ которой падаетъ вода (т. е. увеличить высоту паденія) до 75 м., то та же мощность струи будетъ достигнута при ежесекундномъ паденіи лишь 1 кг. воды. Хотя въ обоихъ случаяхъ водяная струя доставляетъ въ одинаковое время одно и то же число килограмметровъ работы, тѣмъ не менѣе дѣйствія той и другой струи будутъ вообще носить разный характеръ, въ зависимости отъ того, что въ первомъ случаѣ падаетъ сравнительно большое количество воды при маломъ давленіи, а во второмъ—гораздо меньшее количество воды при значительно бóльшемъ давленіи или напорѣ. Струя, выбрасываемая подъ большимъ давленіемъ при сравнительно маломъ количествѣ воды (напр. тонкая струя сильнаго пожарнаго насоса) быть можетъ сломаетъ крылья мельничнаго колеса, не успѣвъ привести его въ движеніе, тогда какъ колесо станетъ вращаться при паденіи на него струи воды подъ меньшимъ давленіемъ, но притекающей ежесекундно въ бóльшемъ количествѣ. — Конечно тѣ же 75 кг.-м. можно получить и при паденіи 3 кг. воды съ высоты 25 м., 5 кг. съ высоты 15 м. и т. д.

Это сравненіе можетъ дать нѣкоторое понятіе о томъ, въ чемъ состоитъ преобразованіе энергіи при производствѣ индукціонныхъ токовъ описаннымъ выше образомъ. Электрическая разность полюсовъ вторичной обмотки во много разъ больше той, которою производится токъ (отъ элементовъ) въ первичной обмоткѣ; количество же электричества, приводимое индукціей въ движеніе въ одинаковое время, во столько же разъ меньше. Рабочая мощность тока, какъ уже было сказано выше (§ 587), выражается произведеніемъ электрической разности въ вольтахъ на силу тока въ ампѐрахъ, т. е. въ вольтъ-ампѐрахъ или ваттахъ. Пусть индукціонный токъ, возбуждаемый во вторичной спирали двумя послѣдовательно соединенными элементами Грене́, даетъ искру длиною 1 см. Опытъ показываетъ, что искра такой длины въ обыкновенномъ воздухѣ происходитъ при электрической разности проводниковъ не менѣе 20000 вольтовъ, между тѣмъ какъ эл. разность двухъ послѣдовательно соединенныхъ (свѣже-снаряженныхъ) элементовъ Грене́ всего 4 вольта. Итакъ эл. разность увеличивается здѣсь въ 5000 разъ; но во столько же разъ уменьшается количество протекающаго электричества, приходящагося на секунду времени, такъ что произведеніе числа вольтовъ на число ампѐровъ [1] никоимъ образомъ не возрастаетъ. Оно даже всегда нѣсколько уменьшается, такъ какъ часть энергіи тока во всякомъ случаѣ расходуется на производство теплоты въ проводникахъ.

Здѣсь нельзя вдаваться въ разборъ подробностей такого рода преобразованія энергіи. Достаточно добавить, что число вольтовъ возрастаетъ приблизительно во столько разъ, сколько оборотовъ вторичной обмотки приходится на каждый оборотъ первичной, а число ампѐровъ во столько же разъ уменьшается (если не считать нѣкоторой непроизводительно теряющейся энергіи).— **Длина тонкой проволоки вторичной обмотки** уже въ индукціонныхъ спиралях меньшаго размѣра можетъ достигать 10 верстъ и болѣе, а въ самыхъ большихъ аппаратахъ заходитъ за 400 верстъ.



461.

Описанный аппаратъ находитъ много примѣненій въ тѣхъ случаяхъ, когда надо дѣйствовать токомъ на тѣла съ большимъ электрическимъ сопротивленіемъ,—когда именно нужна большая электрическая разность, чтобы произвести токъ достаточной силы. Въ этомъ отношеніи дѣйствія индукціонной катушки напоминаютъ собою дѣйствія разряда электрической машины. Напр. токи отъ аппарата даже самыхъ малыхъ размѣровъ производятъ трудно выносимыя судорожныя сокращенія мышцъ [2].

Справочныя свѣдѣнія. — Единица эл. сопротивленія, **омъ**, есть сопротивленіе ртутнаго столбика, площадь поперечнаго сѣченія котораго 1 кв. мм., а длина 106,3 см., при 0°.—Сопротивленіе мѣдной проволоки такихъ же размѣровъ около $1/60$ ома, желѣзной около $1/12$ ома, а точно такого же столбика воды (химически чистой) примѣрно *250 миллiардовъ* омовъ.

Единица электр. разности, **вольтъ**, немного меньше эл. разности полюсовъ элемента *Да́ніеля* (цинкъ въ разведенной сѣрной кислотѣ, мѣдь въ растворѣ мѣднаго купороса), измѣненная форма котораго употребляется въ телеграфномъ дѣлѣ.—Эл. разность полюсовъ элемента *Лекланше́*, употребляемаго для электрическихъ звонковъ, около $1^1/_2$ вольт., а свѣже-снаря-

---

[1] Считая въ среднемъ—такъ какъ мы имѣемъ здѣсь дѣло съ прерывистымъ токомъ.

[2] Индукціонной катушкой обыкновенно пользуются при изученіи электрическаго разряда въ разрѣженныхъ газахъ и для полученія Рёнтгеновыхъ лучей (§§ 552, 553). Рис. 461 изображаетъ одну изъ трубокъ, которыя употребляются для спектральныхъ наблюденій надъ свѣтящимися при этихъ условіяхъ газами: среднюю узкую часть трубки (c) помѣщаютъ противъ самой щели спектроскопа (§ 335).

женнаго элемента *Грене́* (см. § 558) около 2 в. Эл. разность въ проводахъ, доставляющихъ токъ для электрическаго освѣщенія, чаще всего 110—120 вольтовъ. Разрядъ чрезъ человѣческое тѣло можетъ уже быть смертельнымъ при эл. разности въ 1000 вольтовъ. Для разныхъ цѣлей эл. разности въ техникѣ доводятся (въ исключительныхъ случаяхъ) до сотни тысячъ вольтовъ, а при опытахъ съ мощными электр. разрядами и того выше. Эл. разность, при которой происходитъ молнія обыкновенной длины (около 1 км.), оцѣнивается примѣрно въ *полмилліарда* вольтовъ.

Единица силы тока, **ампе́ръ**, есть сила того тока, который получается въ цѣпи при электр. разности въ 1 вольтъ и общемъ сопротивленіи въ 1 омъ.—Сила токовъ, примѣняемыхъ въ электролѣченіи, составляетъ 2—10 *тысячныхъ* ампе́ра. При телеграфированіи обыкновенно пользуются токами отъ 0,005 до 0,1 амп. Токъ въ 0,1 амп. чрезъ человѣческій организмъ можетъ уже быть смертельнымъ. Обыкновенная (16-свѣчная) калильная электр. лампочка (съ угольною нитью) хорошо накаливается при токѣ около $1/2$ амп.; обыкновенная вольтова дуга, примѣняемая для электр. освѣщенія, требуетъ отъ 5 до нѣск. десятковъ ампе́ровъ. Для разныхъ цѣлей въ техникѣ примѣняются токи въ тысячи ампе́ровъ.

Сила тока въ ампе́рахъ находится чрезъ дѣленіе эл. разности въ вольтахъ на общее сопротивленіе въ омахъ. Если обозначимъ эл. разность въ вольтахъ буквою E, сопротивленіе въ омахъ чрезъ R, а соотвѣтствующій токъ въ ампе́рахъ чрезъ J, то

$$J = E/R \ (1) \text{ или } E = JR \ (2) \text{ или } R = E/J \ (3).$$

Мощность тока въ ваттахъ = числу вольтовъ $\times$ число ампе́ровъ $= EJ$ ваттовъ $= \frac{EJ}{1000}$ киловаттовъ или приблиз. $4/3 \cdot \frac{EJ}{1000}$ паров. лошадей (точнѣе $\frac{EJ}{736}$).

---

585. Въ какой зависимости находится сила тока въ цѣпи отъ эл. разности и общаго сопротивленія? Какъ измѣнится сила тока, если эл. разн. увеличится вдвое, втрое, . . . при томъ же сопротивленіи?—если сопротивленіе увеличится вдвое, втрое, . . . при той же эл. разности?—если эл. разность и сопротивленіе увеличатся или уменьшатся въ одинаковое число разъ?—**587**. Сколько большихъ калорій выдѣлится въ теченіе часа въ нити калильной лампочки, взятой для примѣра этого § ? *Отв.* Мощность въ 50 ваттовъ соотвѣтствуетъ работѣ 5 кг.-м. въ 1 сек., т. е. 18000 кг.-м. въ часъ; а такъ какъ одна б. калорія производится затратою 428 кг.-м. энергіи, то число калорій = 18000 : 428, или 42 съ небольшимъ.—Выразить въ киловаттахъ и паров. лошадяхъ мощность молніи обыкновенной длины (1 км.), если работа, соотвѣтствующая одному разряду, составляетъ $2\frac{1}{2}$ милліарда кг.-м. (см. выноску на стр. 629), а длительность разряда 0,001 сек. *Отв.* Если бы работа длилась съ одинаковою мощностью цѣлую *секунду*, то она составила бы 2500 милліардовъ кг.-м.; слѣдов. мощность выразится (считая киловаттъ за 100 кг.-м. въ сек.) 25 милліардами киловаттовъ или 34 милліардами паровыхъ лошадей [1].

XXXIII.

Важнѣйшія практическія примѣненія электрическаго тока.

---

602. Двѣ главныхъ особенности электрическаго тока обусловливаютъ многочисленныя примѣненія этой формы энергіи: 1) удобопревращаемость въ другія формы—теплоту, механическую энергію, химическую и т. п., 2) быстрота и легкость передачи на разстоянія по металлическимъ проводамъ въ любомъ направленіи.

Не было бы возможности даже перечислить здѣсь всего того множества случаевъ, въ которыхъ электрическій токъ является нынѣ къ услугамъ натуралиста и техника, тѣмъ болѣе, что область его примѣненій растетъ съ поразительной быстротою. Мы остановимся лишь на важнѣйшихъ техническихъ примѣненіяхъ, уже завоевавшихъ себѣ прочное положеніе среди условій культурной жизни. Ознакомившись сперва съ главнымъ производителемъ тока — динамоэлектрическою машиною, мы вкратцѣ разсмотримъ: 1) приложенія, основанныя главнымъ образомъ на легкой превращаемости энергіи электрическаго тока, каковы: электрическое освѣщеніе и нагрѣваніе, электрохимическая техника и электрическая передача работы на разстояніе, соединенная съ утилизаціей нѣкоторыхъ природныхъ источниковъ энергіи; 2) приспособленія, назначеніе которыхъ состоитъ въ быстрой передачѣ условныхъ знаковъ на большія разстоянія: обыкновенный электромагнитный телеграфъ и телефонъ съ микрофономъ.

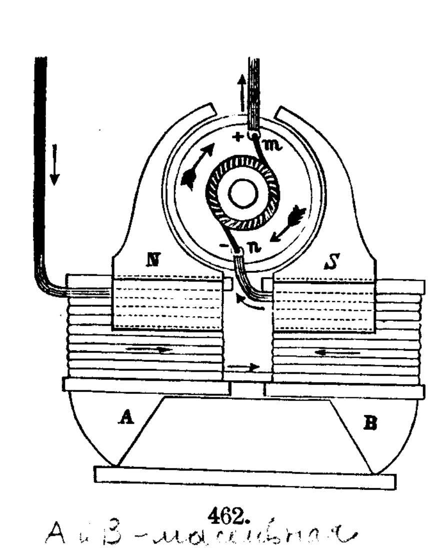
---

[1] Энергіей *одного* разряда такой молніи можно было бы поддерживать въ теченіе $2\frac{1}{2}$ часовъ движеніе электрическихъ трамвайныхъ линій Берлина въ самое горячее время (свѣдѣнія относятся къ 1906 г.), а калильная 16-свѣчная лампочка могла бы быть питаема той же энергіей въ теченіе 16 лѣтъ!

О производствѣ тока помощью динамоэлектрическихъ машинъ.

603. Современная динамомашина представляетъ собою, можно сказать, одно изъ настоящихъ чудесъ техники. Въ самомъ дѣлѣ, кто могъ бы подумать, что для преобразованія механической энергіи въ электрическій токъ — въ любомъ количествѣ — понадобится лишь извѣстное сочетаніе желѣзныхъ массъ и мѣдной проволоки? Но это стало возможно съ того момента, какъ германскому ученому и электротехнику Вернеру Сименсу явилась мысль (1867 г.) намагничивать желѣзныя массы токомъ самой же машины (§ 596).

Рис. 462 даетъ схематическое изображеніе динамомашины одной изъ многихъ формъ. AB—электромагнитъ, N и S—его желѣзные полюсные наконечники: для усиленія дѣйствія, ихъ дѣлаютъ такъ, чтобы они по возможности охватывали собою всю ту вращающуюся часть машины, въ которой наводятся токи и которая обыкновенно называется якоремъ; m, n — наложенныя на коллекторъ щетки. Стрѣлками съ опереніемъ показано направленіе вращенія кольца (якоря), а простыми—направленіе тока, который отъ щетки m идетъ во внѣшнюю цѣпь и оттуда чрезъ обмотку электромагнита—къ щеткѣ n. Надо еще замѣтить, что въ динамомашинахъ, примѣняемыхъ нынѣ въ техникѣ, якорь устроенъ иначе, чѣмъ въ машинѣ Грамма, и имѣетъ видъ болѣе или менѣе удлиненнаго цилиндра (барабана); соотвѣтственно этому измѣнена и форма электромагнитовъ.

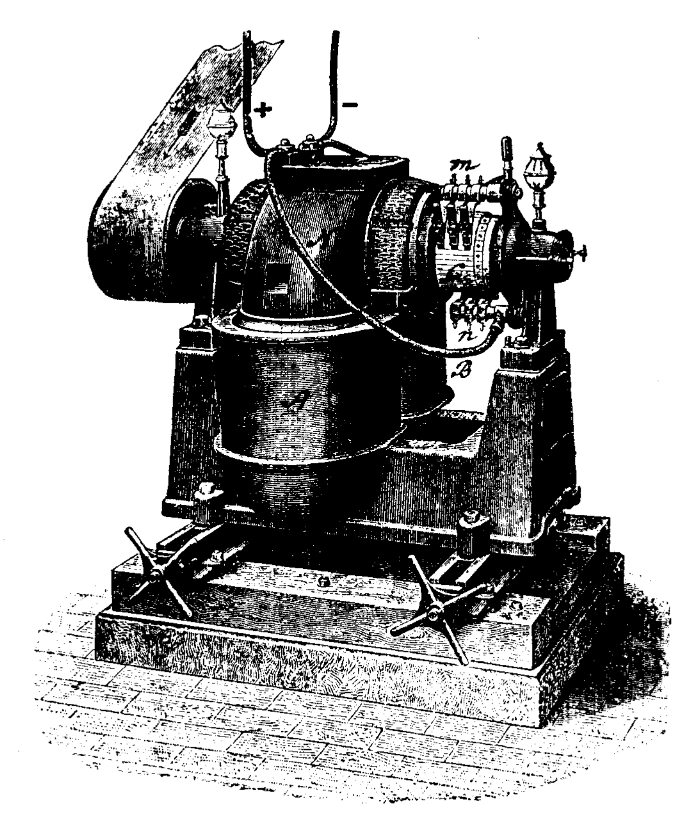


462.

Внѣшній видъ одной изъ динамомашинъ можно видѣть на рис. 463, гдѣ AB — электромагнитъ, N — одинъ изъ его полюсныхъ наконечниковъ, C—коллекторъ, m и n—щетки; знаками + и — обозначены провода, идущіе во внѣшнюю цѣпь. Якорь машины вращается при помощи передаточнаго ремня (отъ маховика паровой машины и т. п.), охватывающаго шкивъ D.—Въ дальнѣйшія подробности устройства динамомашинъ, немаловажныя въ техническомъ отношеніи, мы здѣсь вдаваться не можемъ.

Описанная выше динамоэлектрическая машина доставляетъ, какъ и машина Грамма, токъ постояннаго направленія. Очень распространены и машины, дающія перемѣнный токъ (о немъ см. выше § 592). Но описаніе ихъ завело бы насъ слишкомъ далеко [1].

604*. Мы уже знаемъ (§ 574), что источникомъ энергіи тока, доставляемаго магнитоэлектрической машиною, а слѣд. и динамомашиною, является та работа, которая идетъ на вращеніе якоря въ магнитномъ полѣ. Рабочая мощность тока, доставляемаго машиною, находится, согласно сказанному въ § 587, чрезъ умноженіе электрической разности полюсовъ въ вольтахъ



463.

---

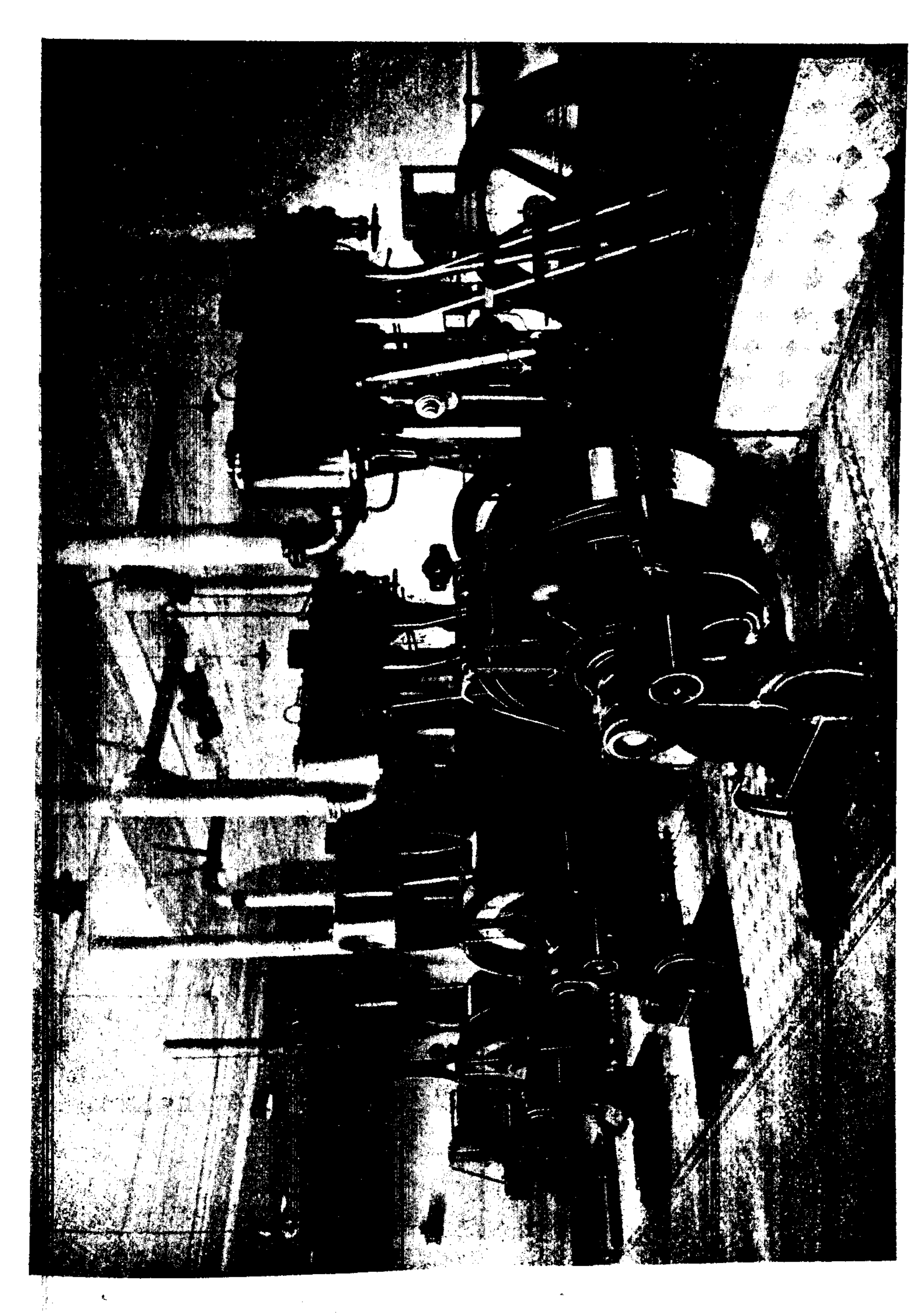
[1] Перемѣнный токъ обычныхъ электроосвѣтительныхъ установокъ даетъ прерывистое освѣщеніе, что обыкновенно незамѣтно для глаза, но легко можетъ быть обнаружено, если направить свѣтъ на вращающійся кружокъ съ черными и бѣлыми секторами (§ 541). Или если при свѣтѣ вольтовой дуги, питаемой перемѣннымъ токомъ, быстро двигать рукою съ раздвинутыми пальцами, то вслѣдствіе поперемѣннаго пригасанія и вспыхиванія вольтовой дуги глазъ видитъ передъ собою множество пальцевъ. (Какъ объяснить себѣ это?) Нѣчто сходное можно замѣтить, двигая рукою около быстро мигающаго пламени.

на силу тока въ ампèрахъ, производимаго машиною въ тѣхъ или иныхъ условіяхъ, причемъ единицею мощности служитъ вольтъ-ампèръ, или ваттъ, соотвѣтствующій приблиз. 0,1 килограмметра въ секунду; единица въ 1000 разъ бо̀льшая есть киловаттъ, или около $1^1/_3$ паров. лошади.—Электрическая разность полюсовъ машины зависитъ какъ отъ подробностей ея устройства (изготовляются машины на весьма разное число вольтовъ, смотря по назначенію), такъ и отъ быстроты вращенія якоря; въ данной машинѣ эл. разность можетъ быть по желанію измѣняема въ извѣстныхъ границахъ. Сила же тока (число ампèровъ) обусловливается, какъ мы знаемъ изъ § 585, во-1) электрической разностью полюсовъ, во-2) сопротивленіемъ всей цѣпи (числомъ омовъ), т. е. суммою внѣшняго сопротивленія и внутренняго (проводовъ въ самой машинѣ). Для примѣра пусть динамомашина, накаливающая угольныя нити электрическихъ лампочекъ, доставляетъ токъ въ 15 ампèровъ при эл. разности въ 100 вольтовъ. Рабочая мощность тока въ этихъ условіяхъ $= 100 \times 15 = 1500$ вольтъ-ампèрамъ или ваттамъ, т. е. приблиз. $1{,}5 \times {}^4/_3 = 2$ паров. лошадямъ. Сколько лампочекъ можетъ быть питаемо этимъ токомъ, если принять, что обыкновенная 16-свѣчная лампочка хорошо накаливается при токѣ въ $^1/_2$ ампèра и электр. разности (у концовъ нити) въ 100 вольтовъ? Такъ какъ каждая лампочка поглощаетъ при этомъ $100 \times \frac{1}{2} = 50$ ваттовъ, то искомое число лампочекъ будетъ $1500 : 50 = 30$. Конечно при этомъ приблизительномъ разсчетѣ упущено изъ виду, что часть энергіи всегда тратится на производство теплоты въ проводахъ внѣшней цѣпи и въ самой машинѣ.

Динамомашина приводится во вращеніе какимъ-нибудь двигателемъ, обыкновенно паровымъ или водянымъ. Часть работы, расходуемой на вращеніе, всегда тратится безполезно, на преодолѣніе тренія и другихъ сопротивленій, а остальная преобразовывается въ энергію тока. Въ наиболѣе экономично работающихъ большихъ машинахъ (нынѣ строятся машины мощностью свыше десятка тысячъ паровыхъ лошадей) тратится безполезно менѣе 10% всей работы, расходуемой на движеніе.

Электрическія станціи и электропроводная сѣть.

605. Динамомашины являются въ настоящее время самыми выгодными производителями электрическаго тока, въ особенности тогда, когда онѣ приводятся въ дѣйствіе водяными двигателями насчетъ даровыхъ природныхъ источниковъ энергіи—горныхъ потоковъ, водопадовъ и рѣкъ. Въ большинствѣ случаевъ двигателями однако служатъ паровыя машины, причемъ слѣдов. тепловая энергія, развиваемая топливомъ, преобразовывается—со значительными потерями—въ энер-



464.

гію электрическаго тока. Рис. 464 изображаетъ для примѣра машинное помѣщеніе небольшой электрической станціи. Слѣва—динамомашины, подвижныя части которыхъ прямо насажены на валы, вращаемые работою пара при помощи паровыхъ цилиндровъ (справа вверху на рисункѣ). Паръ доставляется въ цилиндры по трубамъ отъ паровыхъ котловъ, находящихся въ отдѣльномъ помѣщеніи. (Устройство динамомашинъ отличается отъ описаннаго выше въ § 603).

Отъ электрической станціи токъ въ мѣста потребленія доставляется обыкновенно посредствомъ подземныхъ проводовъ, электрическихъ кабелей, которые, постепенно развѣтвляясь по разнымъ направленіямъ, подобно водопроводнымъ или газопроводнымъ трубамъ, образуютъ собою то, что называется въ техникѣ электропроводною сѣтью.

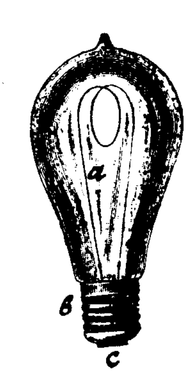
606. Не входя въ дальнѣйшія подробности, замѣтимъ еще только слѣдующее. Динамомашины большихъ электрическихъ станцій поддерживаютъ въ проводахъ обыкновенно электр. разность въ нѣсколько тысячъ вольтовъ, уподобляясь въ этомъ отношеніи насосамъ выбрасывающимъ струю воды подъ большимъ давленіемъ или напоромъ. Въ случаѣ, если бы между проводами оказалось включеннымъ тѣло человѣка, чрезъ него могъ бы пройти токъ нетолько вредоносный, но прямо смертельный. Поэтому, прежде подачи въ жилыя помѣщенія, „высоковольтный“ токъ преобразовывается въ токъ вполнѣ безопасный помощью особенныхъ приспособленій, называемыхъ трансформаторами („преобразователями“), которые понижаютъ эл. разность, поддерживающую электрическое теченіе, до сотни или двухъ сотень вольтовъ, съ незначительною лишь потерею энергіи. „Трансформированіе“ перемѣннаго тока очень просто производится при помощи ихъ индукціоннаго дѣйствія. Положимъ, что двѣ изолированныхъ проволочныхъ обмотки вложены одна въ другую (какъ въ спирали Румкорфа, § 600), и что одна изъ нихъ содержитъ въ 20 разъ больше оборотовъ проволоки, нежели другая. Если перемѣнный токъ въ 200 ампéровъ, поддерживаемый эл. разностью въ 100 вольтовъ,—или, какъ еще иногда говорятъ, подъ „давленіемъ“ въ 100 вольтовъ—пропустить чрезъ обмотку съ меньшимъ числомъ оборотовъ, то у концовъ болѣе длинной обмотки получится эл. разность въ $100 \times 20 = 2000$ вольтовъ, а число ампéровъ тока (перемѣннаго направленія) во столько же разъ уменьшится, т. е. будетъ всего лишь 10. Мощность тока, первичнаго и индукціоннаго, одна и та же: въ первомъ случаѣ 100×200 ваттовъ, во второмъ 2000×10. Въ подобномъ преобразованіи и состоитъ назначеніе Румкорфовой спирали. Но можно поступить и наоборотъ: пропустить наводящій перемѣнный токъ въ 10 амп. подъ „давленіемъ“ 2000 вольтовъ чрезъ обмотку съ бо́льшимъ числомъ оборотовъ; тогда отъ концовъ другой, болѣе короткой обмотки получимъ индукціонный токъ въ 200 амп. при

электрической разности только въ 100 вольтовъ. Трансформированіе всегда сопровождается нѣкоторою потерею энергіи, напр., вмѣсто затраченныхъ 20000 ваттовъ, послѣ преобразованія получится 19000 или около того.

Электрическое освѣщеніе.

607. Для цѣлей освѣщенія съ помощью электрическаго тока нынѣ главнымъ образомъ пользуются: 1) накаливаніемъ короткихъ тонкихъ проводниковъ—такъ-называемыми „калильными лампами“, 2) вольтовой дугою—въ „дуговыхъ лампахъ“.

Въ наиболѣе распространенной нынѣ калильной лампѣ (рис. 465) свѣтитъ очень тонкая, нагрѣваемая токомъ до высокой температуры, нить изъ угля (*a*), она помѣщается внутри тонкостѣнной стеклянной оболочки, изъ которой удаленъ воздухъ, такъ что уголекъ лампы только накаливается, но не можетъ сгорать (имѣющійся у лампъ заостренный стеклянный кончикъ—остатокъ той трубки, которая была запаяна послѣ выкачиванія изнутри воздуха, см. въ верхней части на рис. 465) Концы угольной нити прикрѣпляются къ двумъ платиновымъ проволочкамъ, пропущеннымъ сквозь стекло, въ которое онѣ впаяны; одна изъ проволочекъ припаивается къ мѣдной гильзѣ (*b*) съ винтовымъ нарѣзомъ, надѣтой на фарфоровую оправу лампы, а другая—къ мѣдной пластинкѣ (*c*) снизу оправы. Лампа ввинчивается въ патронъ, внутренняя винтовая нарѣзка котораго сообщается съ однимъ изъ электрическихъ проводовъ, а металлическая часть въ основаніи—съ другимъ; когда пластинка *c* прижмется къ основанію патрона, токъ будетъ замкнутъ угольною нитью, которая и накаливается; но стóитъ лишь немного повернуть лампочку въ патронѣ въ обратную сторону (вывернуть), и токъ будетъ разомкнутъ. Замыканіе и размыканіе тока однако удобнѣе производится посредствомъ такъ наз. выключателей, въ которыхъ поворотомъ рукоятки концы проводовъ или приводятся въ соприкосновеніе, или разъединяются.



465.

Уголекъ лампы изготовляется нынѣ изъ того матерьяла, изъ котораго состоитъ между прочимъ хлопчатая бумага,—клѣтчатки или целлулозы; сперва нити изгибаютъ надлежащимъ образомъ, а потомъ обугливаютъ ихъ безъ доступа воздуха. Подвергая угольки еще нѣкоторой дополнительной обработкѣ, можно придать имъ то или иное электрическое сопротивленіе, съ чѣмъ, какъ увидимъ ниже, связана освѣтительная способность лампы (число замѣняемыхъ ею „свѣчей“).— Надо замѣтить, что

пришлось преодолѣть много трудностей, прежде чѣмъ были выработаны пріемы изготовленія угольныхъ нитей, вполнѣ удовлетворяющихъ своему назначенію. Смотря со стороны на калильную лампочку въ ея современномъ состояніи, нельзя составить себѣ и приблизительнаго понятія о томъ, какъ много упорнаго труда и геніальной изобрѣтательности вложено въ эту столь простую съ виду вещицу, стоющую теперь развѣ немногимъ больше хорошаго ламповаго стекла.

Хотя накаливающійся уголекъ не горитъ [1], онъ однако съ теченіемъ времени разрушается и разрывается, потому что дѣйствіе тока раздробляетъ его въ тончайшую угольную пыль; вслѣдствіе осажденія угольныхъ частичекъ на внутренней поверхности лампы, стекло со временемъ чернѣетъ. Обыкновенныя калильныя лапочки служатъ въ среднемъ 600—800 часовъ, если только чрезъ нихъ не пропускается токъ болѣе сильный нежели тотъ, для котораго онѣ назначены.

608. Каждая лампа, чтобы уголекъ ея накаливался достаточно сильно (какъ говорятъ, „нормально"), должна поглощать, т. е. преобразовывать въ теплоту, ежесекундно опредѣленное количество энергіи. Напр. обыкновенная 16-свѣчная лампочка хорошо накаливается при токѣ около $^1/_2$ амп. и электрической разности (у концовъ нити) около 100 вольтовъ; слѣдов. она требуетъ прихода энергіи въ $100 \times {}^1/_2 = 50$ ваттовъ. Но сила тока (число ампéровъ) зависитъ какъ отъ величины электр. разности (числа вольтовъ), такъ и отъ сопротивленія (числа омовъ). Можно считать, что уголекъ 16-свѣчной лампочки представляетъ сопротивленіе (въ накаленномъ состояніи) около 200 омовъ; слѣдов. токъ въ $^1/_2$ амп. можетъ пройти чрезъ угольную нить именно при эл. разности около 100 вольтовъ: $\frac{100\ (\text{вольт})}{200\ (\text{омовъ})} = \frac{1}{2}$ (амп.), см. § 585. Если-бы электр. разность была напр. 50 вольтовъ, то чрезъ ту же лампочку проходилъ бы токъ всего въ $\frac{1}{4}$ амп., и приходъ энергіи ($50 \times \frac{1}{4}$ ваттовъ) былъ бы недостаточенъ. Напротивъ, если уголекъ лампы будетъ имѣть меньшее сопротивленіе, напр. 125 омовъ, то при прежней эл. разности въ 100 вольтовъ чрезъ него пройдетъ токъ въ $\frac{100}{125} = 0{,}8$ амп.; приходъ энергіи составитъ уже $100 \times 0{,}8 = 80$ ваттовъ, и лампа дастъ больше свѣта.—Обыкновенно на лампочкѣ помѣчается то число вольтовъ, при которомъ она даетъ положенное число „свѣчей". Въ этомъ отношеніи калильныя лампы могутъ быть очень различны, такъ какъ сопротивленіе нити (въ зависимости отъ ея длины, толщины и свойствъ матерьяла) можетъ быть измѣняемо въ довольно широкихъ границахъ. Начи-

[1] Вотъ почему совершенно не отвѣчаетъ дѣйствительности весьма обычное выраженіе—„зажечь" калильную лампу (а еще менѣе конечно—зажечь или погасить электричество).

ная маленькими лампочками, которыя накаливаются уже однимъ элементомъ Гренé (ок. 2 вольтовъ), доходятъ до такихъ, которыя требуютъ 200 слишкомъ вольтовъ. Сила свѣта лампъ, въ зависимости отъ поглощаемой ими ежесекундно энергіи, измѣняется отъ доли свѣчи до нѣсколькихъ сотъ свѣчей. Но чаще всего употребляются лампы въ 16 и 25 свѣчей.

Въ обращеніи нынѣ все чаще и чаще встрѣчаются лампочки, накаливающаяся нить которыхъ состоитъ не изъ угля, а изъ другихъ огнеупорныхъ матерьяловъ. Главная цѣль замѣны—достичь большей экономіи тока, т. е. уменьшить расходъ эл. энергіи на то же количество свѣта (число ваттовъ на каждую свѣчу).

609. Въ такъ называемыхъ дуговыхъ лампахъ, основывающихся на полученіи „вольтовой дуги" между концами двухъ углей, послѣдніе мало-по-малу сгораютъ, соприкасаясь съ воздухомъ, и разстояніе между углями увеличивается; поэтому, чтобы токъ не прерывался, угли надо сближать по мѣрѣ сгоранія. Въ лампахъ, служащихъ для освѣщенія, это достигается съ помощью остроумнаго механизма, приводимаго въ дѣйствіе самимъ же токомъ; такіе механизмы называются самодѣйствующими или **автоматическими регуляторами**. Въ извѣстныхъ случаяхъ, напр. въ проекціонныхъ фонаряхъ съ вольтовой дугою, сближать угли можно очень просто и ручнымъ механизмомъ (ручные регуляторы).—Иногда помѣщаютъ угли въ стеклянный сосудъ, изъ котораго удаленъ кислородъ воздуха; тогда угли служатъ гораздо дольше.

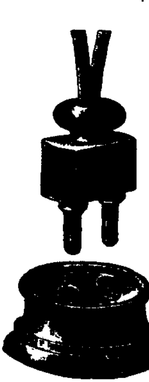
Вольтова дуга, благодаря чрезвычайно высокой температурѣ углей,—самый сильный искусственный источникъ свѣта. Свѣтъ, доставляемый обычными уличными дуговыми лампами, легко заходитъ за 1000 свѣчей: при надлежащей же затратѣ энергіи можно получить вольтову дугу и въ сотню тысячъ свѣчей. Быстрота расходованія энергіи опредѣляется величиною электрической разности у концовъ углей и силою тока. Обыкновенно эл. разность составляетъ 40—45 вольтовъ, а токъ 8—12 ампéровъ. При 45 вольтахъ и 8 ампéрахъ (очень обыкновенный случай напр. въ проекціонныхъ фонаряхъ) расходъ энергіи былъ бы $45 \times 8 = 360$ ваттовъ, что соотвѣтствуетъ приблизительно 36 килогр.-метрамъ въ секунду, или почти $^1/_2$ паровой лошади ($^{36}/_{75}$).—Источники чрезвычайной силы примѣняются для освѣщенія на большомъ разстояніи съ помощію т. наз. „прожекторовъ". Большіе прожекторы поглощаютъ энергію мощностью не меньше десятка паров. лошадей. Приблизительно параллельный свѣтовой пучокъ, посылаемый подобнымъ аппаратомъ, освѣщаетъ отдаленные предметы такъ, какъ соединенный свѣтъ многихъ милліоновъ свѣчей на томъ же разстояніи.

610. На рис. 466 схематически показано, какимъ образомъ лампы включаются въ цѣпь для обычныхъ цѣлей освѣщенія. Меньшими кружечками обозначены калильныя лампы, а большими—дуговыя. Первыя включаются въ цѣпь „параллельно", т. е.

къ каждой лампѣ проводятся двѣ проволоки отъ главныхъ проводовъ (A, B), доставляющихъ токъ въ данное помѣщеніе или въ цѣлый этажъ зданія; при этомъ токъ въ лампахъ поддерживается (приблизительно) такою же эл. разностью въ проводахъ, какая существуетъ на полюсахъ динамомашины (въ нашемъ примѣрѣ 110 вольт.); выключеніе одной или нѣсколькихъ лампъ не влечетъ за собою прекращенія тока въ остальныхъ. Дуговыя же лампы обыкновенно включаются послѣдовательно (см. вѣтвь C, D).—Толщина какъ главныхъ проводовъ, такъ и подводящихъ токъ къ отдѣльнымъ лампамъ, берется такая, чтобы они лишь слабо нагрѣвались проходящимъ по нимъ токомъ.

466.

Переносныя калильныя лампы соединяются гибкими „проводными шнурами" съ тою частью электрическихъ проводовъ, изъ которой берется токъ. Для этого служатъ разныя приспособленія, обычная форма которыхъ представлена на рис. 467. Къ стѣнѣ прикрѣпляется фарфоровая „розетка" съ двумя трубчатыми отверстіями, внутренняя поверхность которыхъ оправлена мѣдью; къ этимъ мѣднымъ оправамъ присоединены концы электрическихъ проводовъ. Когда нужно включить лампу, въ отверстіе розетки вставляютъ „штёпсель", отъ мѣдныхъ концовъ котораго идутъ къ лампѣ двѣ проволоки, скрученныя вмѣстѣ въ одинъ проводной шнуръ и изолированныя одна отъ другой.



467.

При электрическомъ освѣщеніи экипажей и вагоновъ хорошую услугу оказываютъ батареи аккумуляторовъ, заряжаемыя на электрическихъ станціяхъ и смѣняемыя по мѣрѣ надобности. Для зарядки аккумуляторовъ въ желѣзнодорожныхъ поѣздахъ служатъ иногда и динамомашины, приводимыя въ движеніе отъ вагонныхъ осей [1].

[1] Любопытный способъ электрическаго освѣщенія нѣкоторыхъ па-

611. Легко видѣть, какъ велики преимущества электрическаго освѣщенія. Калильныя лампы, которыя въ особенности примѣнимы внутри зданій, не поглощаютъ кислорода изъ воздуха и не развиваютъ углекислаго газа, не коптятъ и даютъ сравнительно мало жара; любое число лампъ можетъ быть приведено въ дѣйствіе и погашено поворотомъ выключателя; лампы почти совершенно безопасны въ пожарномъ отношеніи: если лампа разобьется въ то время, какъ ея нить накалена, то послѣдняя мгновенно перегораетъ безъ дальнѣйшихъ послѣдствій (токъ чрезъ лампу конечно тотчасъ прерывается). Лампы съ оболочками изъ цвѣтного стекла доставляютъ необыкновенно разнообразное и легко измѣняемое декоративное освѣщеніе; лампы надлежащихъ размѣровъ и формы удобно вводятся въ весьма тѣсныя пространства, даже во внутреннія части живого организма—для ихъ изслѣдованія путемъ просвѣчиванія; лампы могутъ свѣтить, если нужно, и подъ водою. И т. д. Что касается вольтовой дуги, то она доставляетъ намъ свѣтъ, который по силѣ уступаетъ только солнечному.—Не мудрено, что электрическое освѣщеніе въ такой степени распространилось за послѣднія десятилѣтія, и можно себѣ представить, какъ велико должно быть стѣсненное положеніе большого города, вдругъ остающагося безъ электрическаго освѣщенія. (Съ электрическимъ въ извѣстныхъ случаяхъ впрочемъ успѣшно соперничаютъ нѣкоторые другіе способы освѣщенія, главнымъ образомъ по причинѣ большей дешевизны).

Еще и въ другомъ отношеніи электрическій свѣтъ, въ особенности отъ вольтовой дуги, превосходитъ многіе другіе раскаленные источники свѣта. Пламя стеариновой свѣчи напр. испускаетъ въ видѣ „свѣта" лишь очень малую долю (далеко меньше 1%) всей развивающейся при горѣніи тепловой энергіи: остальная пропадаетъ для освѣтительныхъ цѣлей безполезно. Калильная лампа преобразовываетъ уже нѣсколько процентовъ всей теплоты въ энергію тѣхъ эфирныхъ волнъ, которыя доступны нашему глазу, а въ вольтовой дугѣ, вслѣдствіе ея чрезвычайно высокой температуры, на долю „свѣта" приходится около $1/10$ всей расходуемой ею тепловой энергіи. Но и вольтова дуга, какъ видимъ, оставляетъ въ этомъ отношеніи желать многаго; она далеко еще не выполняетъ важной задачи, къ разрѣшенію которой стремится освѣтительная техника: достичь того, чтобы какая-либо форма энергіи по воз-

роходныхъ пристаней можно встрѣтить м. пр. у насъ на Волгѣ. Пристань снабжена системою электрическихъ проводовъ съ присоединенными къ нимъ калильными лампами. Какъ только пароходъ сталъ у пристани, сообщаютъ источникъ тока, на немъ имѣющійся, съ эл. проводами пристани, которая и снабжается достаточнымъ свѣтомъ на все время стоянки парохода.

можности сполна преобразовывалась въ энергію „свѣтовыхъ“ лучей достаточной напряженности [1].

Нѣкоторыя другія примѣненія тепловыхъ дѣйствій тока.

612. Изъ множества другихъ техническихъ приспособленій, основанныхъ на превращеніи энергіи электрическаго тока въ теплоту, мы возьмемъ лишь нѣсколько болѣе важныхъ и интересныхъ примѣровъ.

Нагрѣваніе проводниковъ токомъ находитъ многочисленныя примѣненія къ устройству нагрѣвательныхъ аппаратовъ, успѣшно замѣняющихъ собою обычные способы нагрѣванія съ помощью дровъ, угля, керосина, спирта и т. п. На рис. 468 изображенъ напр. „электрическій чайникъ“ для кипяченія воды. Вода наливается въ металическій сосудъ, вдѣланный внутрь чайника и окруженный проводникомъ надлежащаго эл. сопротивленія; послѣдній нагрѣвается токомъ, какъ только приборъ будетъ включенъ въ цѣпь при помощи штепселя *a* (см. также выше рис. 467). Легко представить себѣ подобнаго же устройства „электрическій самоваръ“. — Сходнымъ образомъ дѣлаются электрическія сковороды, кастрюли и другія нагрѣвательныя принадлежности „электрической кухни“.



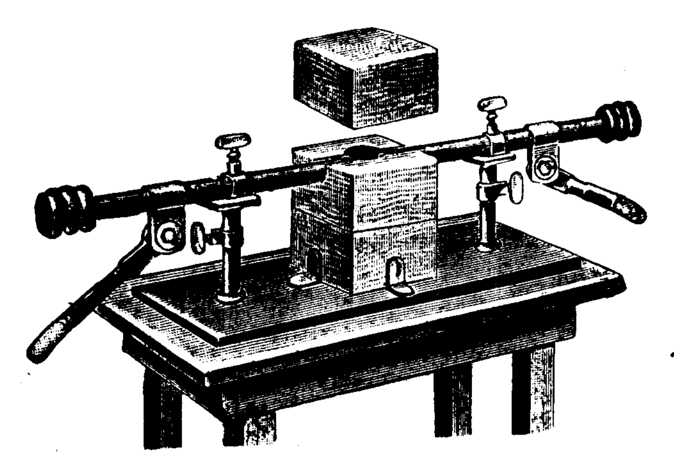
468.

Устройство многихъ другихъ приборовъ для нагрѣванія, примѣняемыхъ въ хозяйствѣ и мастерствахъ, основывается въ сущности на томъ же началѣ. Таковы напр. электрическіе утюги, паяльники, зажигатели и прижигатели, разныя электрическія грѣлки, даже электрическія печи для нагрѣванія помѣщеній и т. п. Нельзя въ этой области указать границъ удобопримѣнимости электрическаго тока.

Стòитъ еще особо отмѣтить чрезвычайно простое и остроумное приспособленіе, устраняющее возможность прохода по проводамъ слишкомъ сильнаго тока, что могло бы повести къ различнымъ поврежденіямъ: сгоранію изолировки при разогрѣваніи проводовъ и даже къ пожару. Въ надлежащихъ мѣстахъ включаются въ провода т. наз. плавкіе предохранители, содержащіе обыкновенно свинцовую перемычку, чрезъ которую и проходитъ токъ; толщина этой перемычки (проволоки или пластинки) такъ разсчитана, что она расплавляется и слѣдов. прерываетъ токъ, лишь только послѣдній по какимъ либо причинамъ превыситъ допустимую въ проводахъ силу. Такой предохранитель обыкновенно имѣется напр. въ розеткѣ (рис. 467), въ которую вставляется штепсель проводнаго шнура.

[1] Изъ всей тепловой энергіи, которая въ очагѣ паровой машины развивается сжиганіемъ топлива, лишь ничтожнѣйшая часть преобразовывается въ „свѣтовую“ энергію при посредствѣ калильныхъ лампъ, питаемыхъ динамомашиною. Отсюда видно, какъ много еще остается сдѣлать въ направленіи болѣе экономическаго производства свѣта накаливаніемъ тѣлъ.

613*. О примѣненіи вольтовой дуги къ устройству электрическихъ печей уже упоминалось выше (§ 560). Одна изъ такихъ печей представлена на рис. 469. Самая печь состоитъ изъ трехъ прямоугольныхъ брусковъ изъ очень огнеупорнаго матерьяла, напр. извести или магнезита; верхній брусокъ служитъ крышкой. Внутрь печи, куда входятъ два толстыхъ угля, помѣщаютъ въ тиглѣ (изъ угля и др.) то вещество, которое подвергается жару вольтовой дуги. Къ концамъ углей присоединены толстые мѣдные провода, доставляющіе надлежащей силы токъ.— Въ мощныхъ электрическихъ печахъ токъ достигаетъ нѣсколькихъ тысячъ ампèровъ. При 1000 амп. и 110 вольтахъ мощность энергіи, поглощаемой такою печью, составляетъ уже $1000 \times 110 = 110000$ ваттовъ, т. е. около 150 паровыхъ лошадей. Какъ упоминалось раньше, температура внутри электрической печи можетъ заходить за $3^1/_2$ тысячи градусовъ (Ц.). Эффекты электрической печи, состоящіе въ быстромъ расплавленіи и кипяченіи самыхъ огнеупорныхъ веществъ, превосходятъ всякое описаніе.


469.

Если произвести вольтову дугу между углемъ и какимъ-либо металлическимъ предметомъ, то послѣдній въ мѣстѣ образованія вольтовой дуги легко плавится (см. § 560). На этомъ основывается электрическое паяніе, электрическая сварка же-

лѣзныхъ и другихъ частей. Такимъ образомъ удается напр. соединять въ одно прочное цѣлое сломавшіеся толстые машинные валы.

Примѣненія химическихъ дѣйствій тока.

614. Химическія дѣйствія тока также примѣняются въ разнообразнѣйшихъ случаяхъ: простой перечень ихъ занялъ бы уже немало мѣста. Область примѣненій сосредоточивается главнымъ образомъ около полученія различнѣйшихъ тѣлъ путемъ химическаго разложенія или химическаго соединенія веществъ при содѣйствіи энергіи тока. То и другое обыкновенно производится пропусканіемъ тока (постояннаго направленія) или чрезъ растворы, или чрезъ расплавленныя въ электрической печи вещества.

Многіе металлы выдѣляются изъ растворовъ ихъ солей дѣйствіемъ электрическаго тока, причемъ металлъ всегда осаждается на проводникѣ, соединенномъ съ отрицательнымъ полюсомъ источника тока. Примѣромъ уже служило выше осажденіе мѣди (§ 570). Такимъ путемъ, беря растворы солей соотвѣтственныхъ металловъ, можно покрывать тѣмъ или инымъ металломъ какую-нибудь другую металлическую (или неметаллическую, но достаточно проводящую) поверхность; на этомъ именно основано гальваническое серебреніе, золоченіе, никкелировка и пр.—Затѣмъ электролитическое осажденіе достаточно толстаго и прочнаго металлическаго слоя на рельефныя поверхности позволяетъ получать точныя гальванопластическія копіи съ оригиналовъ, для чего обыкновенно съ послѣднихъ дѣлаются сперва оттиски, на которые уже осаждаютъ металлъ (мѣдь, цинкъ и др.). На этомъ основывается изготовленіе хорошихъ типографскихъ клишѐ для печатанія въ большомъ количествѣ рисунковъ, чертежей, картъ и пр. Въ особенности важно, что удалось примѣнить этотъ пріемъ къ изготовленію рельефныхъ рисунковъ по фотографическимъ снимкамъ съ натуры или съ хорошихъ оригиналовъ,—благодаря чему художественныя иллюстраціи сдѣлались несравненно доступнѣе, чѣмъ прежде, когда печатное воспроизведеніе ихъ по оригиналу обходилось очень дорого.

Съ другой же стороны электролитическое полученіе металловъ нашло важныя примѣненія въ техникѣ добычи металловъ изъ ихъ рудъ или другихъ химическихъ соединеній, изготовляемыхъ заводскимъ путемъ, — въ металлургіи. Такъ получаютъ напр. очень чистую „электролитическую“ мѣдь изъ содержащихъ ее сложныхъ веществъ, чрезъ растворъ которыхъ пропускаютъ электрическій токъ. Электролитически извлекаютъ изъ соотвѣтственныхъ растворовъ также золото и нѣкоторые другіе металлы.

615. Въ особенности же мощнымъ оказался электролитическій способъ извлеченія металловъ при содѣйствіи высокой температуры электрической печи. Такимъ образомъ, соединяя плавку съ электролизомъ, добываютъ нынѣ въ большомъ количествѣ легкій металлъ алюминій (входящій м. пр. въ составъ глины), большіе запасы котораго въ землѣ прежде не могли быть технически использованы. Электролизомъ расплавленныхъ соединеній получаютъ также и магній.

Высокая температура электрической печи дала возможность превращать уголь въ алмазъ въ бо́льшемъ (хотя все еще незначительномъ) количествѣ, чѣмъ это дѣлалось раньше.

Затѣмъ въ послѣдніе годы при содѣйствіи электрическихъ печей удалось въ достаточныхъ количествахъ добыть нѣсколько металловъ, свойства которыхъ были мало изучены вслѣдствіе трудности ихъ полученія прежними (не-электрическими) способами.

Нельзя не упомянуть и о томъ, что дѣйствіемъ электрическаго тока при высокой температурѣ были приготовлены интереснѣйшія и важныя по примѣненіямъ новыя химическія соединенія. Назовемъ изъ нихъ хотя бы соединеніе угля съ металломъ кальціемъ (входящимъ въ составъ известняковъ), такъ наз. карбидъ кальція. Вещество это при обливаніи водою вступаетъ съ нею въ химическое взаимодѣйствіе, образуя м. пр. ацетиленъ—газъ, горящій очень яркимъ пламенемъ; послѣднее, въ связи съ легкостью добычи, сдѣлало его нынѣ очень хорошимъ въ извѣстныхъ случаяхъ освѣтительнымъ матерьяломъ.

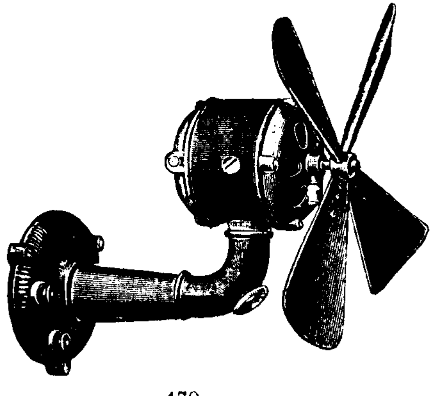
Наконецъ примѣненіе вольтовой дуги въ химической промышленности обѣщаетъ крупные успѣхи еще и въ иномъ направленіи—въ дѣлѣ изготовленія искусственныхъ удобреній, столь необходимыхъ для поддержанія и улучшенія производительности почвы. Дѣло въ томъ, что одинъ изъ существеннѣйшихъ элементовъ всякаго растительнаго (и животнаго) организма, азотъ, не усваивается большинствомъ растеній прямо изъ воздуха, а главнымъ образомъ въ видѣ нѣкоторыхъ химическихъ соединеній (азотной кислоты и амміака), которыя и являются важною составною частью удобренія. Нѣкоторыя необходимыя для этого химическія соединенія азота уже удается нынѣ съ помощью энергіи вольтовой дуги добывать заводскимъ путемъ, пользуясь атмосфернымъ азотомъ, огромные запасы котораго въ воздухѣ могутъ такимъ образомъ послужить на пользу сельскому хозяйству.

Электрическая передача работы на разстоянія.

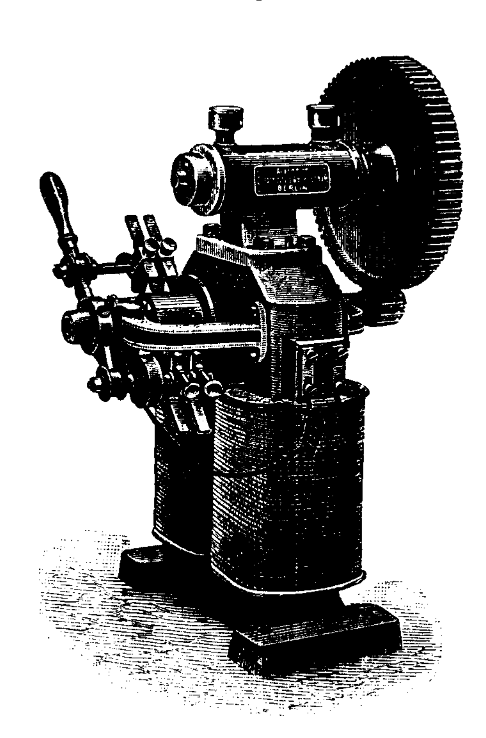
616*. То обстоятельство, что динамомашину можно обратить въ электродвигатель (§§ 575 и 597), повело къ разрѣшенію важнаго техническаго вопроса о передачѣ механической ра-

боты на значительныя разстоянія. Прежде всякая работа, доставлявшаяся напр. паровою машиною или водянымъ двигателемъ, могла быть использована или тутъ же на мѣстѣ, или передана (съ помощью ремней, канатовъ и пр.) лишь на очень небольшія разстоянія. Нынѣ, преобразовывая работу двигателя въ электрическій токъ чрезъ посредство динамомашины и пропуская токъ по изолированнымъ проводамъ въ электродвигатель, можно достичь того же несравненно удобнѣе и почти что не стѣсняясь разстояніями.

Самая передача движенія отъ электродвигателя рабочему механизму производится нѣсколькими способами. Если нужна очень большая быстрота вращенія, то вращающаяся часть рабочаго механизма прямо насаживается на ось электродвигателя. Такъ приводятся въ дѣйствіе напр. электрическіе вентиляторы. Одинъ изъ нихъ представленъ на рис. 470 (электродвигатель скрытъ въ цилиндрической коробкѣ, примыкающей къ вентилятору); при затратѣ менѣе $^1/_{10}$ паровой лошади онъ можетъ прогнать въ часъ около 1800 куб. метровъ воздуха — приблизительно столько воздуха, сколько помѣщается въ большой залѣ (10×6×3 куб. сажень).



470.

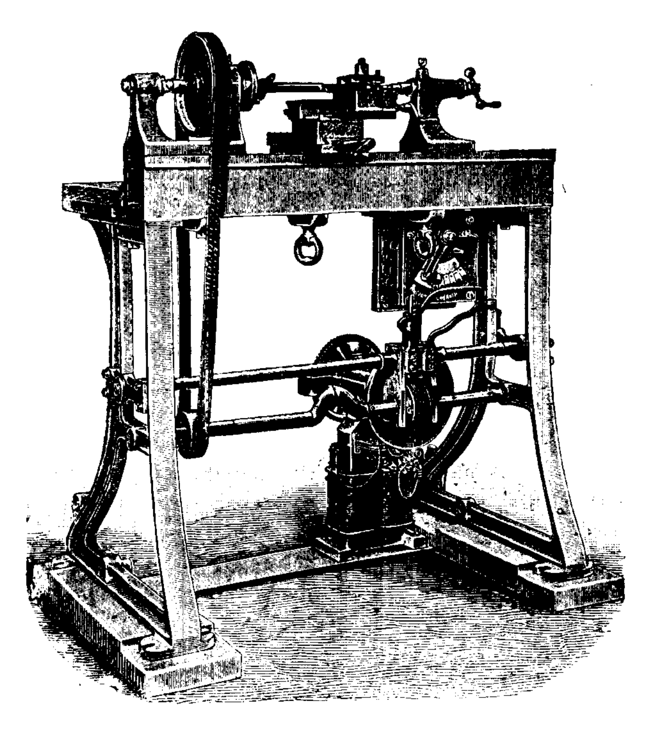


471.

Въ другихъ случаяхъ движеніе отъ электродвигателя передается рабочему механизму съ помощью зубчатыхъ колесъ, какъ показываетъ напр. рис. 471. На слѣдующемъ затѣмъ рисункѣ изображенъ токарный станокъ, приводимый въ движеніе электромоторомъ, который установленъ на станкѣ снизу и соединенъ зубчатой передачей съ его валомъ.

Чаще однако электродвигатель присоединяется къ рабочему механизму посредствомъ передаточныхъ ремней или шнуровъ, какъ напр. на рис. 473, который изображаетъ сверлильную машину съ ременной передачей отъ находящагося снизу слѣва электродвигателя.

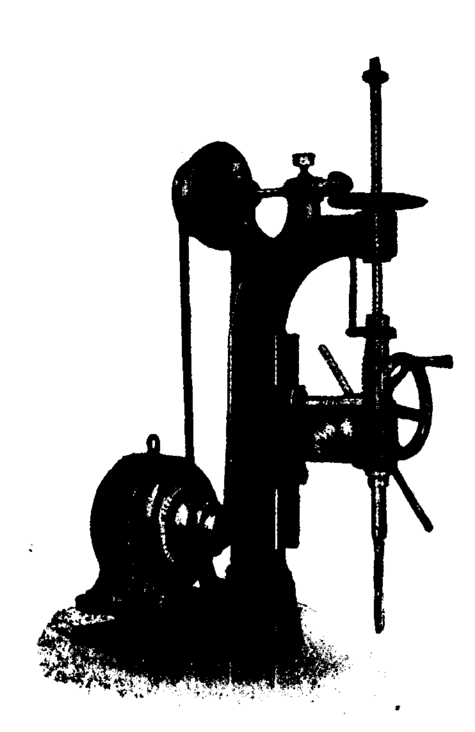
Такимъ образомъ конечно можно приводить въ дѣйствіе множество рабочихъ механизмовъ и приспособленій цѣлаго завода, которому токъ доставляется изъ болѣе или менѣе удаленнаго машиннаго помѣщенія съ его паровыми двигателями, котлами и печами. Надо видѣть, какъ надежно, чисто и изящно выполняются иногда огромныя работы посредствомъ механизмовъ, которыми управляетъ почти что одинъ человѣкъ съ центральнаго пункта, направляя токъ въ тѣ или другія провода!



472.

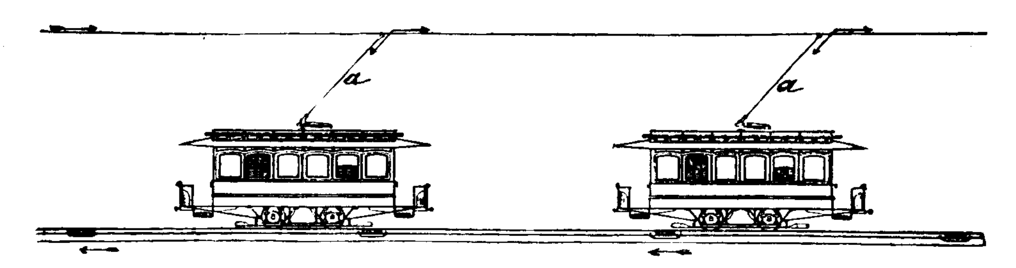
617. Послѣ этого будетъ понятно примѣненіе электродвигателей и къ передвиженію вагоновъ, экипажей, судовъ—къ электрическимъ желѣзнымъ дорогамъ, электрическимъ автомобилямъ, электрическимъ лодкамъ. Если на основной рамѣ вагона установить электродвигатель, соединенный съ осью вагоннаго колеса, то вагонъ можетъ быть приведенъ въ движеніе при пропусканіи тока чрезъ электродвигатель. Токъ чаще всего

доставляется отъ электрической станціи по проводу, подвѣшенному къ столбамъ на изоляторахъ; отсюда, чрезъ посредство скользящей вдоль провода металлической части (*a* рис. 474), токъ идетъ къ вагону, проходитъ чрезъ электродвигатель, откуда идетъ обратно по вагоннымъ колесамъ и рельсамъ. Обыкновенно воздушный проводъ плотно налегаетъ на дугообразно изогнутый упругій проводникъ, выставляющійся надъ крышей вагона (рис. 475). — Иногда токъ доставляется электродвигателю вагона и по рельсамъ, безъ посредства воздушнаго провода. — Наконецъ вагонъ можетъ приводиться въ движеніе и батареей аккумуляторовъ, находящейся въ самомъ же вагонѣ, причемъ чрезъ извѣстный промежутокъ времени батарея замѣняется свѣже-заряженною, а сама поступаетъ для зарядки на электрическую станцію. Этотъ способъ примѣняется именно въ довольно распространенныхъ нынѣ электрическихъ автомобиляхъ, экипажахъ, назначаемыхъ для обыкновенныхъ мощеныхъ или шоссейныхъ дорогъ.

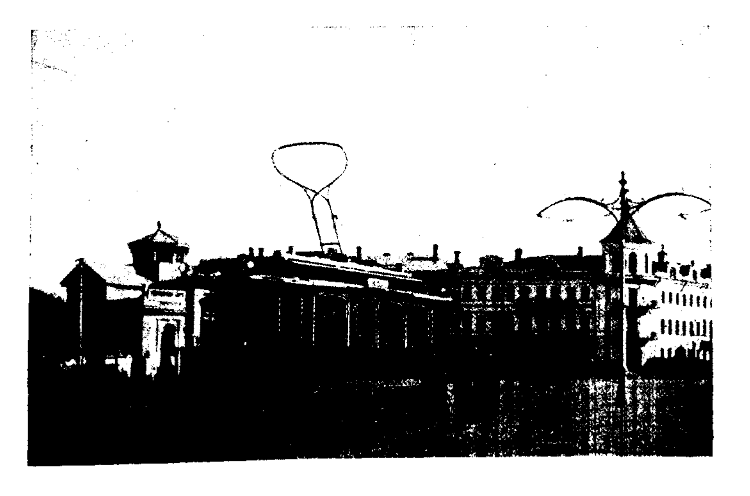

473.

На рис. 476 изображенъ электровозъ большой скорости, машина, приводимая въ движеніе мощнымъ электродвигателемъ и назначаемая для прицѣпки къ ней нѣсколькихъ вагоновъ. (Способъ доставки тока здѣсь иной, чѣмъ описано выше).

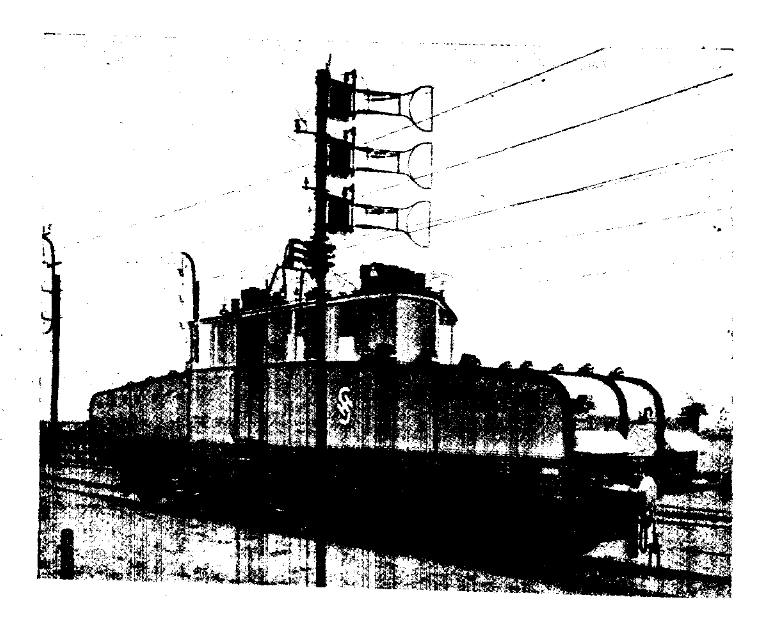
618. Этихъ примѣровъ вполнѣ достаточно, чтобы видѣть, какъ полезна и удобна можетъ быть электрическая передача работы. Не имѣя на мѣстѣ дѣла съ топливомъ, а слѣдовательно избѣгая жара, копоти и огнеопасности, однимъ поворотомъ „выключателя“ можно привести въ дѣйствіе и маленькую рабочую машину, и цѣлую фабрику, или пустить въ ходъ желѣзнодорожный поѣздъ. Чтобы однако полнѣе оцѣнить все значеніе электропередачъ, надо еще кое-что добавить объ условіяхъ доставки электрической энергіи по проводамъ. Въ нихъ конечно безполезно расходуется на теплоту часть энергіи—тѣмъ бо̀льшая, чѣмъ значительнѣе сопротивленіе проводовъ; часть энергіи неизбѣжно теряется и вслѣдствіе несовершенной изоляціи. Но потерю энергіи даже на большихъ разстояніяхъ уже удалось довести до сравнительно малой величины. Въ этомъ отношеніи навсегда славнымъ останется опытъ электропередачи на большое разстояніе, произведенный въ связи съ электрической выставкой во Франкфуртѣ на Майнѣ въ 1891 году. Въ 175 километрахъ (около 165 верстъ) отъ Франкфурта, на рѣкѣ Неккарѣ (притокѣ Рейна), находится водопадъ, которымъ приводилась въ движеніе турбина мощностью въ 300 паровыхъ лошадей. Токъ отъ динамомашины, вращаемой турбиною, передавался затѣмъ по мѣднымъ проводамъ съ діаметромъ всего въ 4 мм. (приблизительно толщина обыкновенной телеграфной проволоки) на выставку во Франкфуртъ, гдѣ онъ накаливалъ свыше тысячи 16-свѣчныхъ лампъ и одновременно, посредствомъ электродвигателя въ 100 пар. лошадей, приводилъ въ дѣйствіе насосъ, доставлявшій воду для искусственнаго водопада.—Много трудностей пришлось преодолѣть при этой первой попыткѣ передать электрическую энергію на



474.


475.

столь большое разстояніе. Между прочимъ здѣсь впервые были примѣнены особаго устройства динамомашина и электродвигатель, въ которыхъ система перемѣнныхъ токовъ требовала не двухъ, а трехъ проводовъ (такъ называемый „трехфазный" токъ), и которые скоро нашли обширныя примѣненія (см. напр. большой



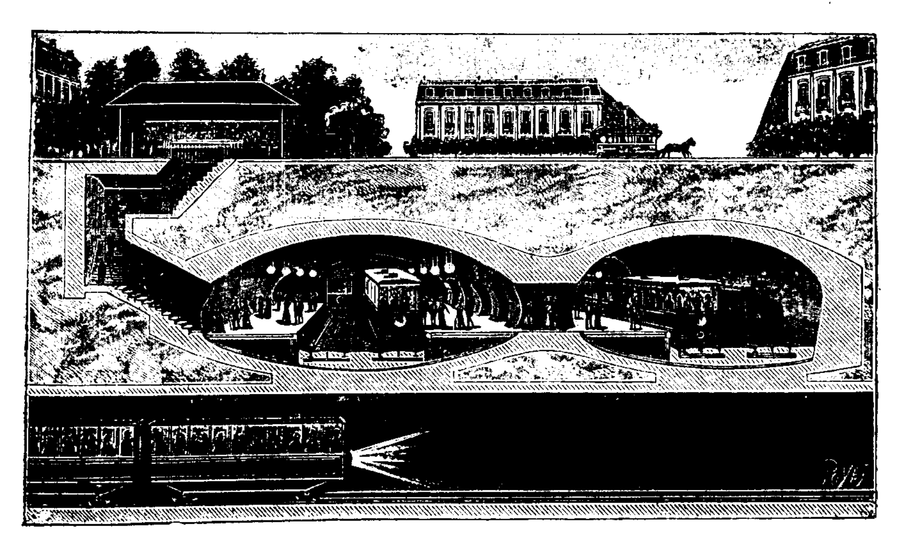
476.

электровозъ, изображенный на рис. 476). Въ окончательномъ результатѣ количество энергіи, доставленной такимъ образомъ во Франкфуртъ на разстояніе 165 верстъ, составляло около $^{3}/_{4}$ той, которая сообщалась динамомашинѣ работою водяного двигателя на р. Неккарѣ. Собственно въ проводахъ терялось всего лишь около $15^{0}/_{0}$ энергіи.

619. Замѣчательный успѣхъ этого перваго опыта повлекъ за собою дальнѣйшее развитіе и распространеніе электрической передачи энергіи — въ особенности въ государствахъ съ сильно развитою заводскою промышленностью и въ такихъ мѣстностяхъ, которыя изобилуютъ горными источниками и водопадами. Въ настоящее время имѣется уже множество центральныхъ станцій, на которыхъ динамомашины приводятся въ дѣйствіе или паровыми машинами, насчетъ энергіи сжигаемаго топлива, или водяными двигателями, работою падающей воды. Мощность отдѣльныхъ динамомашинъ большой станціи обыкновенно составляетъ нѣсколько тысячъ паровыхъ лошадей, а мощность всей станціи можетъ достигать и десятковъ тысячъ. Энергія затѣмъ передается по цѣлой сѣти проводовъ въ мѣста ея потребленія для разнообразнѣйшихъ цѣлей.

Всего дешевле обходится добыча электрической энергіи насчетъ работы горныхъ потоковъ и водопадовъ, работоспособность которыхъ до сихъ поръ едва находила приложенія, и на этой почвѣ многое уже сдѣлано въ Швейцаріи, Италіи, Франціи, Скандинавскихъ государствахъ и др. Часть энергіи столь извѣстнаго въ Европѣ Рейнскаго водопада утилизуется (въ Нейгаузенѣ) для приведенія въ дѣйствіе завода, добывающаго электролитически большія количества алюминія (см. выше § 615). Грандіознѣйшія сооруженія для добычи электрической энергіи и передачи ея на многіе десятки верстъ устроены въ С. Америкѣ — между прочимъ на знаменитомъ Ніагарскомъ водопадѣ (мощность котораго оцѣнивается примѣрно въ 7 милліоновъ пар. лошадей) [1].

620. Вмѣстѣ съ усовершенствованіемъ способовъ электропередачи энергіи широкое распространеніе получили и электри-



477.

ческія желѣзныя дороги — пока главнымъ образомъ для городскихъ и пригородныхъ сообщеній. Многіе большіе города обладаютъ нынѣ цѣлыми сѣтями электрическихъ дорогъ, дѣлаю-

[1] Петербургъ въ отношеніи запасовъ энергіи падающей воды находится въ довольно выгодныхъ условіяхъ. Иматра (въ 150 верстахъ по прямому направленію), Нарвскій водопадъ (130 в.) и пороги р. Волхова (100 в.) могли бы снабдить городъ энергіей мощностью не менѣе сотни тысячъ пар. лошадей. Проекты въ этомъ направленіи давно уже имѣются. Такая электропередача конечно могла бы содѣйствовать оздоровленію и украшенію нашей мрачной, вѣчно дымящей и коптящей полуторамилліонной столицы.

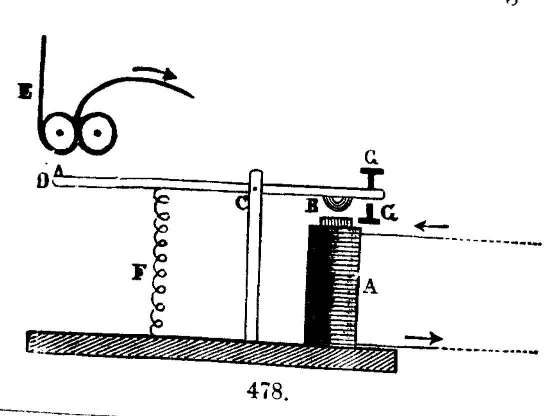
щихъ сообщеніе болѣе быстрымъ и дешевымъ. Незамѣнимую услугу оказалъ электрическій способъ передвиженія при устройствѣ подземныхъ желѣзныхъ дорогъ, необходимость которыхъ давно уже вызвана напр. въ европейскихъ столицахъ усиленнымъ уличнымъ движеніемъ. Для примѣра рис. 477 даетъ разрѣзъ чрезъ часть подземныхъ желѣзнодорожныхъ туннелей Парижа, которые мѣстами (какъ именно представлено на рисункѣ) расположены въ два этажа. Энергія электрическаго тока служитъ вмѣстѣ съ тѣмъ для освѣщенія и вентиляціи такихъ подземныхъ галерей.

Примѣненіе электродвигателей къ желѣзнымъ дорогамъ обѣщаетъ значительно увеличить скорость движенія, которая легко уже доводится электровозами (при надлежащемъ пути) верстъ до 150 въ часъ. Въ опытахъ, произведенныхъ близъ Берлина въ исключительныхъ условіяхъ, скорость доводилась—впрочемъ лишь на очень короткомъ протяженіи—даже до 210 килом. въ часъ (197 вер. въ часъ), что въ 2 слишкомъ раза больше скорости перворазряднаго курьерскаго поѣзда на полномъ ходу[1].

Электромагнитный телеграфъ.

621. Обратимся теперь къ приспособленіямъ для электрической передачи условныхъ знаковъ на разстоянія. Изъ нихъ электромагнитный телеграфъ былъ по времени (1833 г.) первымъ крупнымъ техническимъ примѣненіемъ электрическаго тока и является нынѣ, въ разныхъ формахъ, самымъ распространеннымъ способомъ быстраго словеснаго сообщенія на большихъ разстояніяхъ.

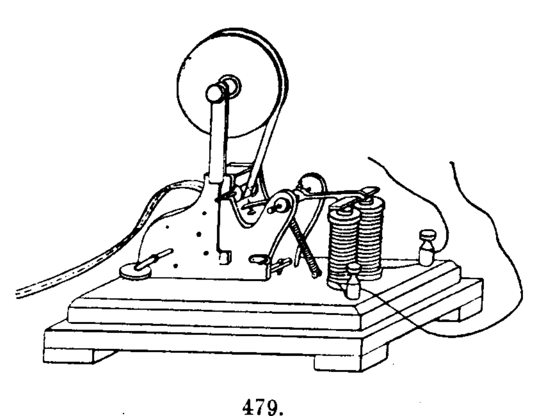
На возможность передачи условныхъ знаковъ съ помощью электромагнита было уже указано въ § 567. Для ускоренія передачи и записыванія депеши на пріемной станціи, придуманы различные аппараты, приводимые въ дѣйствіе электромагнитнымъ путемъ. Мы опишемъ здѣсь вкратцѣ лишь наиболѣе распространенный телеграфный аппаратъ Морза, дѣйствіе котораго будетъ понятно изъ схемати-



478.

[1] Любопытно, что такой величины не достигала наибольшая скорость движенія воздуха, какую удалось отмѣтить при сильнѣйшихъ ураганахъ (до 195 км/час.).

ческаго рис. 478 (см. также болѣе полный рис. 479). Токъ проходитъ изъ телеграфной линіи, со станціи подачи, чрезъ электромагнитъ *A*; противъ него находится якорь изъ мягкаго желѣза *B*, прикрѣпленный къ концу рычажка, могущаго поворачиваться около оси *C*; другой конецъ рычажка снабженъ шпенькомъ *D*. Всякій разъ, какъ токъ будетъ пущенъ, якорь *B* притягивается къ электромагниту, а конецъ *D* рычажка приподнимается; шпенекъ нажимаетъ тогда на бумажную тесьму *E*, равномѣрно протягиваемую между двухъ вращающихся валиковъ (направленіе движенія тесьмы показано стрѣлкою). Пружинка *F* служитъ для быстраго приведенія рычажка въ первоначальное положеніе послѣ прерыванія тока; колебанія же конца *B* вверхъ и внизъ ограничиваются задержками *G*, *G*. Значки, оставляемые шпенькомъ на движущейся тесьмѣ, будутъ состоять изъ черточекъ разной длины, смотря по продолжительности замыканія тока: или короткихъ, называемыхъ въ телеграфной азбукѣ точками, или болѣе длинныхъ, собственно черточекъ. Изъ точекъ и черточекъ составляется вся азбука телеграфа Морза. Вотъ нѣсколько примѣровъ:


479.

а	б	в	г	д	е	ж	з
· —	— · · ·	· — —	— — ·	— · ·	·	· · · —	— — · ·

1	2	3	4	5
· — — — —	· · — — —	· · · — —	· · · · —	· · · · ·

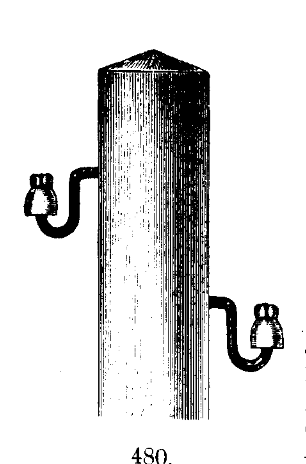
точка	точка съ запятой	запятая	двоеточіе
· · · · · ·	— · — · — ·	· — · — · —	— — — · · ·

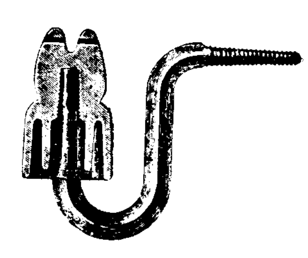
Токъ гальванической батареи, направляемый въ линію со станціи подачи, замыкается здѣсь нажатіемъ руки телеграфиста на „телеграфный ключъ“ или клавишу, причемъ кратковременное нажатіе производитъ на пріемной станціи точку, а болѣе длительное—черточку. Такъ какъ въ случаѣ длинныхъ телеграфныхъ линій токъ, посылаемый со станціи подачи, былъ бы слишкомъ слабъ для приведенія въ дѣйствіе пишущаго аппарата, то послѣднее производится особой мѣстной батареей, находящейся на пріемной станціи, а токъ изъ телеграфной линіи служитъ лишь для замыканія тока этой мѣстной батареи. Токъ изъ линіи пропускается именно чрезъ электромагнитъ отдѣльнаго при-

бора (т. наз. релэ, т. е. „соединителя“), включеннаго въ одну цѣпь съ мѣстной батареей и пишущимъ аппаратомъ: электромагнитъ, притягивая якорь, смыкаетъ концы проводовъ цѣпи, и батарея приводитъ въ дѣйствіе пишущій аппаратъ.

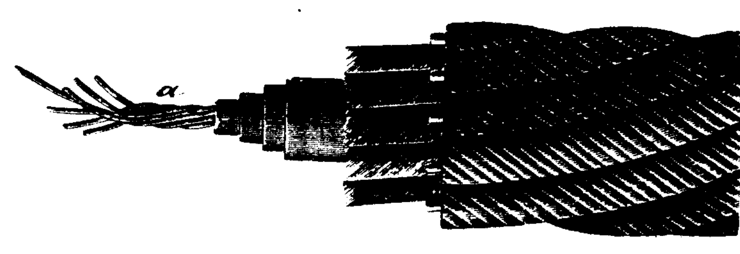
622. Опуская дальнѣйшія техническія подробности, которыхъ много во всякомъ спеціальномъ дѣлѣ, упомянемъ здѣсь еще о слѣдующемъ. Оказалось, что для сообщенія между собою станцій подачи и пріема нѣтъ необходимости въ двухъ проволокахъ (туда и обратно) для каждой линіи, а достаточно одной: другую можетъ замѣнить собою земля. Это конечно значительно упрощаетъ и удешевляетъ проводку телеграфной линіи.

Самая проволока сухопутныхъ линій (обыкновенно желѣзная, съ поверхности оцинкованная) чаще всего подвѣшивается на столбахъ, къ которымъ прикрѣпляется помощью фарфоровыхъ изоляторовъ (рис. 480); имъ придается такая форма (вродѣ зонтика), чтобы нижняя часть ихъ поверхности, куда вставленъ поддерживающій желѣзный крюкъ, была защищена отъ дождя и др. атмосферныхъ осадковъ верхними частями: это конечно весьма важно для лучшей изоляціи проводовъ. (Рис. 481 изображаетъ изоляторъ въ разрѣзѣ; привязываемая къ нему телеграфная проволока вкладывается въ углубленіе сверху).


480.


481.

Для подземныхъ и подводныхъ телеграфныхъ линій служатъ т. наз. кабели, въ которыхъ собственно проводная (мѣдная) проволока составляетъ лишь незначительную часть всей толщины (см. *a* на рис. 482); главная же приходится на изолировку (гуттаперчей) и защитительную обшивку (изъ оцинкованныхъ желѣзныхъ проволокъ, свинца, асфальта и пеньки).—О громадныхъ трудностяхъ изготовленія и прокладки океанскихъ кабелей можно судить по тому, что первую телеграфную линію между Ирландіей и С. Америкой удалось осуществить (въ 1866 году) лишь послѣ попытокъ, занявшихъ восемь лѣтъ: кабель, длиною свыше 4000 верстъ, рвался нѣсколько разъ. (Послѣ первыхъ неудачъ для укладки кабеля былъ построенъ величайшій въ то время пароходъ „Грэтъ-Истернъ“).—Надо замѣтить, что телеграфированіе по столь длиннымъ морскимъ проводамъ производится не съ помощью описаннаго выше аппарата Морза, а иначе.



482.

623. Каждый знаетъ, въ какой степени телеграфъ ускоряетъ сообщеніе между отдаленными мѣстностями. Надо имѣть въ виду, что собственно передача знаковъ по телеграфной проволокѣ занимаетъ весьма незначительное время по сравненію съ тѣмъ, какое нужно для соблюденія очереди, доставки депеши по адресу и пр.; скорость передачи электрическаго дѣйствія по телеграфной проволокѣ, при каждомъ нажатіи клавиши, настолько велика, что сравнительно съ нею земныя разстоянія являются совершенно ничтожными. Вотъ любопытный примѣръ того, чего можно достичь при благопріятныхъ условіяхъ телеграфированія. Въ 1896 году праздновалось въ Глэзго пятидесятилѣтіе преподаванія знаменитаго англійскаго физика Вилльяма Томсона (получившаго потомъ титулъ лорда Кельвина) въ глэзговскомъ университетѣ. Поздравительная депеша, посланная ему нарочно окольнымъ путемъ — чрезъ Нью-Фаундлэндъ, Нью-Іоркъ, Чикаго, С. Франциско, Лосъ-Анжелесъ, Новый Орлеанъ и Нью-Фаундлендъ — была доставлена юбиляру чрезъ 7 минутъ послѣ отправленія. Отвѣтъ же великаго ученаго, направленный по тому же самому пути, былъ полученъ чрезъ четыре минуты послѣ подачи. (Надо еще имѣть въ виду, что телеграфированіе по океанскимъ кабелямъ требуетъ бóльшого времени, нежели по воздушнымъ проводамъ).

Съ помощью аппарата Морза опытный телеграфистъ можетъ передавать около сотни буквъ въ минуту. Чтобы ускорить телеграфированіе и сдѣлать его независимымъ отъ спеціальной азбуки, были придуманы аппараты (гораздо болѣе сложнаго устройства), передающіе депешу буквами обыкновеннаго алфавита. Изъ нихъ наиболѣе примѣнимымъ оказался печатающій аппаратъ Юза, посредствомъ котораго удается увеличить быстроту передачи разъ въ пять противъ прибора Морза.

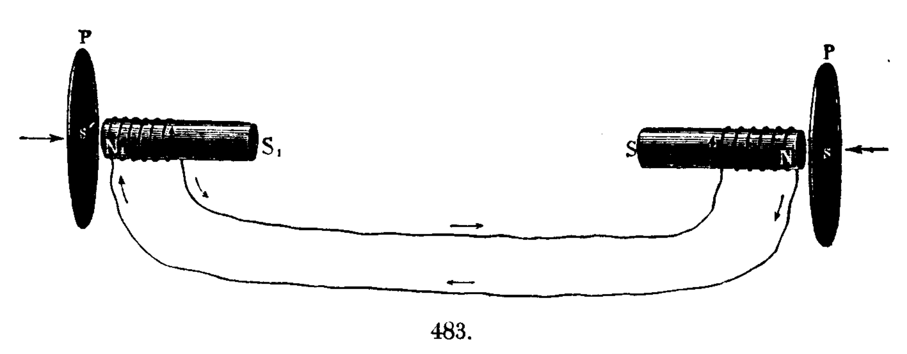
Но этимъ далеко не ограничивается изобрѣтательность въ области телеграфнаго дѣла. Существуютъ приборы, устроенные такъ, что если на станціи подачи писать или чертить по бумагѣ, то на пріемной станціи все написанное или начерченное воспроизводится перомъ, которое во всѣхъ подробностяхъ повторяетъ движенія руки пишущаго. Такимъ образомъ можетъ быть воспроизведенъ даже его почеркъ. Чуть не каждый

годъ приноситъ новые замѣчательные плоды изобрѣтательности техниковъ въ этомъ направленіи.

Телефонъ и микрофонъ.

624. По сравненію съ упомянутыми въ концѣ предыдущаго § аппаратами, телефонъ, превосходно передающій живую человѣческую рѣчь, отличается замѣчательной простотою устройства. Дѣйствіе его основывается на электромагнитной индукціи и въ существенныхъ чертахъ сводится къ слѣдующему.

Представимъ себѣ два стальныхъ магнита NS и N_1S_1, концы которыхъ обвиты изолированной проволокой, образующей замкнутую цѣпь (рис. 483), и пусть противъ каждаго магнита, очень близко отъ концовъ, находятся тонкія желѣзныя пластинки P и P, прикрѣпленныя краями къ неподвижной оправѣ. Дѣйствіемъ магнитовъ эти пластинки намагничиваются. Если одна изъ пластинокъ, напр. правая, будетъ приближаема къ магниту и уда-



483.

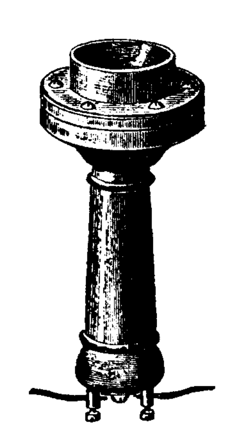
ляема отъ него, то съ каждымъ перемѣщеніемъ пластинки по отношенію къ проволочной обмоткѣ, въ послѣдней будутъ возникать индукціонные токи (см. § 591), направленіе которыхъ при приближеніи пластинки будетъ одно, а при удаленіи — противоположное. Эти токи проходятъ по обмоткѣ другого магнита (N_1 S_1): здѣсь, смотря по направленію токовъ, намагниченная пластинка P либо притягивается, либо отталкивается. Такимъ образомъ лѣвая пластинка повторяетъ колебанія правой. Мы имѣемъ въ одномъ изъ приборовъ какъ бы маленькую магнитоэлектрическую машину, производящую токъ перемѣннаго направленія, а въ другомъ — такую же машину въ роли электродвигателя. Если движеніе правой пластинки производится звуковыми волнами, сообщающими ей, положимъ, 100 полныхъ колебаній въ секунду, то 100 приближеній и столько же удаленій пластинки возбудятъ 100 токовъ одного направленія и столько же другого; такимъ образомъ лѣвая пластинка совершитъ 100 движеній въ одну сторону и 100 въ другую, т. е. также 100 пол-

ныхъ колебаній въ секунду; слѣдовательно она воспроизведетъ по высотѣ тонъ, подѣйствовавшій на пріемный аппаратъ.

Чтобы понять, какимъ образомъ можетъ передаваться человѣческая рѣчь, припомнимъ (гл. XV), что звуки нашей рѣчи можно разсматривать какъ сложные тона, состоящіе изъ основного и ряда добавочныхъ (высшихъ) тоновъ. Тонкая желѣзная пластинка телефона съ поразительною точностью воспринимаетъ какъ болѣе крупныя колебательныя движенія воздуха, соотвѣтствующія основному тону, такъ и болѣе мелкія, съ которыми связаны добавочные тона. Всѣ эти различной силы колебанія пластинки вызываютъ вполнѣ имъ соотвѣтствующіе— главные и второстепенные—индукціонные токи, и благодаря имъ намагниченная пластинка второго аппарата совершаетъ колебанія въ мельчайшихъ подробностяхъ сходныя съ колебаніями пластинки перваго аппарата. Нельзя конечно не подивиться замѣчательной воспріимчивости столь простого сочетанія магнита, желѣзной пластинки и мѣдной проволоки — качеству, которое повидимому явилось нѣсколько неожиданнымъ и для знатоковъ дѣла, когда изъ С.-Америки пришла вѣсть объ изобрѣтеніи телефона Беллемъ (1876).

Рис. 484 изображаетъ внутреннее расположеніе частей телефона въ его первоначальномъ простомъ видѣ: здѣсь хорошо видны магнитъ, проволочная обмотка и сообщеніе ея съ двумя зажимными винтами, которые назначаются для присоединенія проводовъ; снизу, въ раструбѣ телефона, можно видѣть поверхность желѣзной пластинки, прикрѣпленной краями къ оправѣ. (См. также внѣшній видъ прибора, рис. 485). Два аппарата столь простого устройства, будучи соединены между собою проводнымъ шнуромъ (состоящимъ изъ двухъ изолированныхъ другъ отъ друга тонкихъ мѣдныхъ проволокъ), уже очень отчетливо передаютъ разговорную рѣчь. Въ настоящемъ своемъ видѣ телефонъ имѣетъ нѣсколько болѣе сложное устройство (напр. магнитный брусокъ замѣненъ въ немъ болѣе сильнымъ подковообразнымъ магнитомъ) и служитъ собственно лишь въ качествѣ пріемника, прикладываемаго

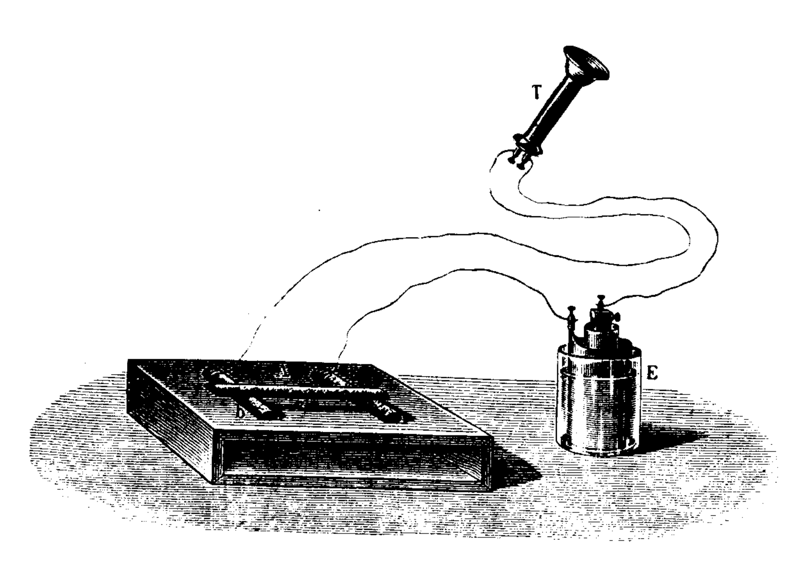
484.



485.

къ уху; податчикъ, непосредственно приводимый въ дѣйствіе звуковыми волнами, устроенъ на иномъ началѣ, которое состоитъ въ слѣдующемъ.

625. Пропустимъ токъ отъ гальваническаго элемента E (рис. 486) чрезъ телефонъ T и угольный (коксовый) брусочекъ c, положенный концами на два другихъ (a, b). Малѣйшее нажатіе на брусочекъ c, способствуя болѣе тѣсному налеганію его на нижніе, уменьшаетъ сопро-



486.

тивленіе току въ мѣстахъ соприкосновенія, и токъ усиливается; съ прекращеніемъ нажатія сопротивленіе снова увеличивается, и токъ становится слабѣе. Усиленія и ослабленія тока вызываютъ въ телефонѣ колебанія пластинки — телефонъ звучитъ. Какъ показываетъ опытъ, такимъ образомъ можно достичь того, что въ телефонъ громко слышны ничтожнѣйшія сотрясенія, сообщаемыя угольнымъ брусочкамъ (достаточно напр., чтобы по дощечкѣ прибора проползла муха); но въ особенности важно то, что приборъ отчетливо передаетъ телефону и звуковыя колебанія близлежащаго воздуха. Соединеніе этого прибора—микрофона—съ телефономъ весьма содѣйствовало практической примѣнимости самаго телефона.

Не описывая подробностей устройства микрофона на практикѣ, способа соединенія податчика и пріемника и пр.,—все это завело бы насъ слишкомъ далеко,—укажемъ лишь на достигнутые результаты. Кромѣ телефонныхъ сѣтей множества городовъ, необыкновенно облегчающихъ словесныя сношенія на разстояніяхъ, въ настоящее время имѣется уже много междугородныхъ линій, дающихъ возможность переговариваться въ нѣкоторыхъ случаяхъ даже на разстояніяхъ свыше тысячи верстъ [1].

Нѣсколько общихъ замѣчаній о примѣненіяхъ электричества.

626. Сдѣланный выше бѣглый очеркъ важнѣйшихъ примѣненій электрическаго тока никоимъ образомъ не знакомитъ насъ съ техникой дѣла: это потребовало бы гораздо болѣе подробнаго и притомъ непремѣнно практическаго изученія предмета. Цѣль очерка — дать общую картину грандіозныхъ примѣненій той области знанія, начало которой было положено триста слишкомъ лѣтъ тому назадъ [2] изученіемъ столь ничтожныхъ съ виду явленій, какъ притяженіе бумажныхъ обрывковъ нѣкоторыми тѣлами при треніи и желѣзныхъ опилокъ кускомъ магнитнаго желѣзняка. Лишь мало по малу, благодаря геніальной наблюдательности и упорному труду многихъ изслѣдователей, былъ открытъ цѣлый рядъ новыхъ явленій, родственныхъ тѣмъ притяженіямъ, и выяснена связь ихъ какъ между собою, такъ и съ проявленіями другихъ видовъ энергіи въ природѣ. Но знаніе взаимной зависимости явленій и есть та великая сила нашего разума, благодаря которой человѣкъ—нѣкогда лишь жалкая игрушка мощной энергіи природы — все болѣе и болѣе становится ея хозяиномъ. На почвѣ этого знанія возникли всѣ практическія примѣненія электричества, не смотря даже на то, что вопросъ о сущности „электричества" до сихъ поръ еще не нашелъ удовлетворительнаго отвѣта.

Необъятною представлялась земля въ древности. И не мудрено: человѣкъ средняго роста примѣрно въ $8^1/_2$ милліоновъ разъ меньше діаметра земного шара. Желѣзныя дороги и пароходства даютъ нынѣ возможность объѣхать землю въ какихъ нибудь два

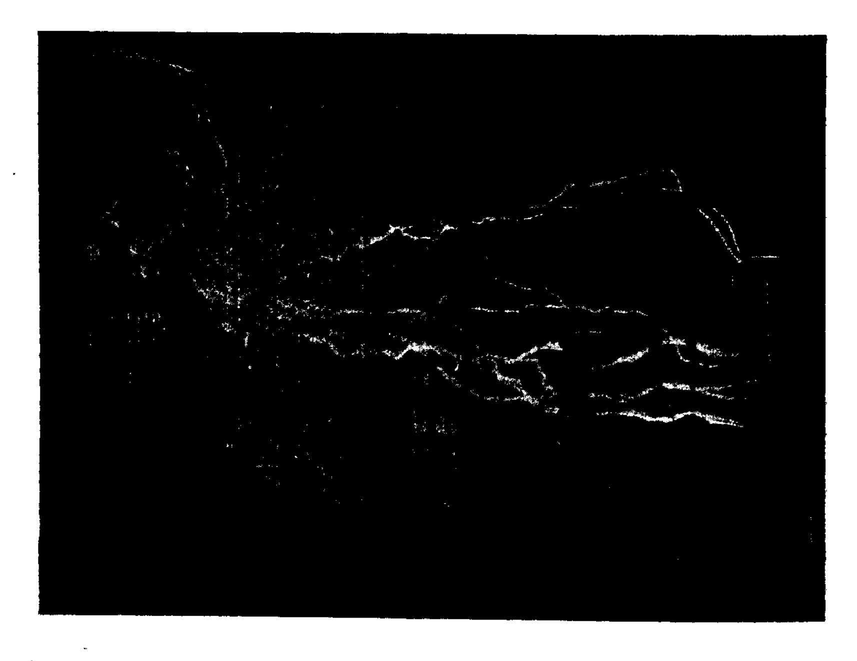
1 Надо замѣтить, что телеграфомъ и телефономъ далеко не ограничивается обиходное примѣненіе электрическаго тока для тѣхъ или иныхъ сношеній на разстояніяхъ. Электрическая сигнализація напр. очень обезпечиваетъ правильность и безопасность желѣзнодорожнаго движенія; она же позволяетъ своевременно увѣдомлять о начинающихся пожарахъ; электрической искрой можно произвести взрывъ мины, напр. въ горныхъ работахъ, съ большого вполнѣ безопаснаго разстоянія. И т. д. Весьма любопытно примѣненіе электрическаго тока къ устройству электрическихъ часовъ, ходъ которыхъ регулируется токами съ центральной станціи и такимъ образомъ вполнѣ согласуется съ ходомъ находящихся на станціи точныхъ часовъ. Нѣтъ никакой возможности останавливаться здѣсь на описаніи этихъ и подобныхъ—большею частью весьма остроумныхъ — приспособленій.

О замѣчательномъ открытіи болѣе новаго времени, безпроволочномъ телеграфированіи, будетъ сказано ниже, въ гл. XXXV.

2 Англійскимъ ученымъ Гильбертомъ.

мѣсяца, а сношенія электрическимъ путемъ помощью телеграфа дѣлаютъ земныя разстоянія совершенно ничтожными. Въ телефонъ можно ясно слышать сказанное за тысячу верстъ слово. Но не безуспѣшны и попытки сдѣлать чрезъ посредство электрическаго тока видимымъ то, что происходитъ въ отдаленной отъ насъ мѣстности. Современная дѣйствительность въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ уже ушла дальше сказочныхъ фантазій нашихъ предковъ.

Какъ ничтоженъ съ виду человѣкъ по сравненію со страшными дѣйствіями молніи! Однако онъ не только сумѣлъ сдѣлать это грозное явленіе вполнѣ для себя безопаснымъ, но въ состояніи и самъ воспроизводить его. Рис. 487 даетъ нѣкоторое понятіе



487.

о мощныхъ электрическихъ разрядахъ, которые удавалось производить съ помощью динамомашинъ и трансформаторовъ (судя по извѣстіямъ, пришедшимъ изъ С.-Америки нѣсколько лѣтъ тому назадъ). Со страшнымъ трескомъ и ревомъ проносятся вдоль большого помѣщенія настоящія молніи, а ничтожный съ виду человѣкъ (самъ „авторъ“ этой сцены) сидитъ спокойно по сосѣдству, углубившись въ свои размышленія...

Нельзя не видѣть, какъ открытія въ области электричества нынѣ властно преобразовываютъ человѣческую жизнь. Едва-ли нужно напр. особо подчеркивать все значеніе хорошаго и общедоступнаго вечерняго освѣщенія. Удлиняя дѣятельную часть сутокъ

и поддерживая бодрое настроеніе вечеромъ, оно вмѣстѣ съ тѣмъ широко открываетъ двери чтенію и умственной работѣ въ часы вечерняго досуга, а слѣдов. распространенію знаній. Какъ не позавидовать въ этомъ отношеніи нынѣшней Швейцаріи, гдѣ чуть не каждая деревня освѣщена лучше, чѣмъ многіе города остальной Европы! А доставка дешевой механической энергіи по электрическимъ проводамъ? Какъ много она дѣлаетъ для облегченія сношеній между людьми, насколько она можетъ смягчить трудъ ремесленника, приводя въ движеніе его станки и машины!

Удешевленіе примѣнимыхъ источниковъ энергіи, какъ мы видимъ,—очередной вопросъ современной техники, и здѣсь не мало уже сдѣлано изобрѣтеніями въ области электричества, открывшими столь широкое поле для использованія энергіи текущихъ водъ, которая дотолѣ пропадала безполезно. Въ Европѣ особенно много надеждъ вселяютъ Альпы, этотъ огромный аккумуляторъ водяной энергіи, мощность котораго оцѣнивается примѣрно въ 13 милліоновъ паровыхъ лошадей: изъ нихъ около 1 милліона уже утилизуется нынѣ почти поровну Франціей, Швейцаріей и Италіей. Грандіозные проекты обѣщаютъ сдѣлать со временемъ всю эту энергію удобопримѣнимой для общественнаго пользованія.

Что сулитъ намъ дальнѣйшее примѣненіе электричества къ жизни? Если мысленно представить себѣ лишь продолженіе и усовершенствованіе уже достигнутаго, то приложенія электрической энергіи, при дружномъ взаимодѣйствіи науки и техники, безъ сомнѣнія приведутъ къ чрезвычайному облегченію и ускоренію людскихъ сношеній на разстояніяхъ, къ болѣе совершенному, чѣмъ нынѣ, использованію запасовъ энергіи въ природѣ и слѣдов. къ повышенію производительности человѣческаго труда, наконецъ—и это пожалуй самое важное—къ болѣе равномѣрному распредѣленію запасовъ энергіи въ качествѣ подспорья личному труду и для надобностей здороваго житейскаго обихода. Но конечно не исключена возможность и совсѣмъ новыхъ открытій, которыя направятъ людскую изобрѣтательность по инымъ, еще невѣдомымъ для насъ путямъ...

---

604. Динамомашина даетъ токъ въ 250 амп. при эл. разности полюсовъ въ 3000 вольтовъ (условія вродѣ тѣхъ, которыя встрѣчаются на большихъ центральныхъ станціяхъ для электр. освѣщенія). Какова мощность машины въ киловаттахъ и паров. лошадяхъ? *Отв.* $\frac{250\times3000}{1000}=750$ киловаттовъ или приблиз. $\frac{4}{3}.750=$ 1000 пар. лошадей (точнѣе $\frac{250\times3000}{736}$ или около 1020 пар. лошадей). Сколько обыкновенныхъ 16-свѣчныхъ лампочекъ (см. § 587) могла бы питать эта машина, если пренебречь потерями? *Отв.*

15000.—**618**. Токомъ отъ батареи въ 100 послѣдовательно соединенныхъ (см. §§ 589, 590) аккумуляторовъ можно производить очень эффектную плавку желѣза, стали и пр. Какова сила тока, если электр. разность полюсовъ каждаго аккумулятора 2 вольта, внутр. сопротивленіе его 0,01 ома, а сопротивленіе внѣшней цѣпи 1 омъ? *Отв.* $\frac{200}{1+1} = 100$ амп. Можно ли, безъ опасности для жизни, коснуться руками къ обоимъ полюсамъ этой батареи, если сопротивленіе организма 5000 омовъ? *Отв.* Сила тока будетъ $\frac{200}{5000}$ (сопротивленіемъ батареи можно принебречь) или 0,04 амп., что еще значительно меньше силы тока, считающагося жизнеопаснымъ (0,1 амп.).—**616**. Электродвигатель отдаетъ до 90% (и даже болѣе) той работы, которая доставляется ему энергіей тока (остальная тратится на треніе и теплоту внутри машины). Какова мощность электродвигателя, приводящаго въ движеніе вентиляторъ, если сила подаваемаго тока $^3/_4$ ам., при эл. разности на полюсахъ электродвигателя въ 120 вольтовъ, и если „отдача" электродвигателя составляетъ 83% вкладываемой въ него работы? *Отв.* Доставляемая токомъ мощность $= 120 \cdot {}^3/_4$ вольтъ-амперовъ, или 90 ваттовъ; изъ нихъ отдается электродвигателемъ $90 \times 0{,}83 = 74{,}7$ ваттовъ, т. е. $\frac{74{,}7}{736}$, или около 0,1 паровой лошади.

XXXIV.

Излученіе солнца, какъ нашъ главный источникъ энергіи. Значеніе среды: наша атмосферная среда. Эфиръ.

Преобразованія солнечной энергіи на земной поверхности и величина энергіи солнечнаго излученія.

627. Физическая жизнь человѣка есть непрерывный процессъ преобразованій энергіи, которая доставляется его организму окружающей обстановкой, вмѣстѣ съ воздухомъ, пищей и тепломъ. Человѣкъ издавна пользовался для поддержки своего существованія природными источниками энергіи и не могъ не видѣть, что нетолько все живое на землѣ обязано своею жизнью с о л н ц у, но что и бóльшая

часть всего совершающагося на землѣ проистекаетъ изъ того же источника. Великій законъ сохраненія энергіи озарилъ это довольно смутное сознаніе яркимъ свѣтомъ, давъ возможность прослѣдить до мелкихъ подробностей преобразованіе лучистой энергіи солнца на земной поверхности въ различныя другія формы.

На землѣ дѣятельность солнечныхъ лучей проявляется главнымъ образомъ въ трехъ направленіяхъ: п о д д е р ж а н і е м ъ н е о б х о д и м о й д л я ж и з н и с т е п е н и т е п л а, м е х а н и ч е с к о й р а б о т о й н а п о в е р х н о с т и и н а к о п л е н і е м ъ х и м и ч е с к о й э н е р г і и в ъ р а с т и т е л ь н ы х ъ о р г а н и з м а х ъ.

Энергія солнечныхъ лучей преобразовывается в ъ т е п л о в у ю частью уже въ атмосферѣ, но главнымъ образомъ при паденіи лучей собственно на земную поверхность, такъ какъ воздухъ, особенно разрѣженный воздухъ верхнихъ слоевъ атмосферы, очень прозраченъ для солнечныхъ лучей[1]. Если бы не постоянный притокъ солнечной энергіи, земной шаръ, окруженный чрезвычайно холоднымъ небеснымъ пространствомъ, очень скоро охладился бы чрезъ излученіе до температуры, при которой жизнь на немъ стала бы невозможной; въ околополярныхъ мѣстностяхъ мы именно встрѣчаемъ картину обледенѣнія, которая неминуемо угрожала бы землѣ при недостаточномъ притокѣ солнечнаго тепла.

Превращеніе солнечной энергіи въ м е х а н и ч е с к у ю мы наблюдаемъ въ перемѣщеніяхъ атмосфернаго воздуха, образующихъ вѣтра, и въ поднятіи испаряющихся водяныхъ массъ, которое ведетъ къ выпаденію атмосферныхъ осадковъ. Неравномѣрное нагрѣваніе атмосферы производитъ то, что давленіе воздуха въ одномъ и томъ же горизонтальномъ слоѣ становится неодинаковымъ, и воздухъ перемѣщается изъ мѣстъ съ бóльшимъ давленіемъ въ мѣста съ меньшимъ. Чѣмъ значительнѣе разность давленій, приходящаяся на данное разстояніе (на единицу разстоянія), тѣмъ быстрѣе потенціальная энергія атмосферы превращается въ кинетическую,—тѣмъ сильнѣе дѣйствія вѣтра. Каковы могутъ быть эти дѣйствія—всякій знаетъ по описанію ураганов,

[1] По свидѣтельству воздухоплавателей, поднимавшихся на большія высоты, ихъ ноги коченѣли отъ холода въ то время, какъ солнечные лучи обжигали имъ лицо, шею и руки.

мощность которыхъ оцѣнивается нерѣдко сотнями милліоновъ паровыхъ лошадей.

Поднятіе массъ водяного пара, образующагося изъ жидкой воды насчетъ энергіи солнечныхъ лучей, доставляетъ громадные запасы потенціальной энергіи, которые преобразовываются въ кинетическую при обратномъ паденіи воды на землю, а отсюда — въ энергію теченія горныхъ потоковъ, рѣкъ и водопадовъ.

Грóзы, обыкновенно сопровождающія бури и ливни, являются слѣдствіемъ образованія большихъ электрическихъ разностей въ атмосферѣ, которыя несомнѣнно возникаютъ тоже насчетъ затратъ солнечной энергіи.

О разложеніи углекислаго газа хлорофилломъ растеній при дѣятельномъ участіи солнечныхъ лучей мы уже говорили выше (§ 208). Остается лишь добавить, что лучистая энергія солнца преобразовывается здѣсь въ скрытую отъ насъ химическую энергію, которая запасается въ образующихся при этомъ новыхъ химическихъ соединеніяхъ, идущихъ на поддержаніе роста растенія; она именно превращается въ теплоту, когда растеніе, напр. дерево, сжигаютъ въ качествѣ топлива. Медленный процессъ обугливанія растеній, нѣкогда жившихъ на землѣ, сохранилъ намъ въ залежахъ каменнаго угля часть израсходованной въ давнія времена солнечной энергіи—въ формѣ химической энергіи, свойственный углю и кислороду воздуха. Такимъ образомъ, сжигая дерево и уголь для полученія тепла, мы въ сущности пользуемся той энергіей, которую зеленые органы растеній когда-то заимствовали отъ солнца[1].

Вещества, накопляемыя въ растеніяхъ при посредствѣ солнечной энергіи, усваиваются въ процессѣ питанія организмами животныхъ—травоядныхъ, а чрезъ нихъ и плотоядныхъ.

[1] Вопросъ о происхожденіи нефти, тоже довольно распространеннаго горючаго матерьяла (въ переработанномъ и очищенномъ видѣ —керосинъ и бензинъ), нельзя еще считать окончательно рѣшеннымъ. Обыкновенно нефть называютъ „минеральнымъ топливомъ“. Но повидимому нынѣ взгляды ученыхъ больше склоняются въ пользу догадокъ объ органическомъ происхожденіи нефти. Если такъ, то о тепловой энергіи, освобождающейся при сжиганіи керосина и пр., придется сказать то же, что и примѣнительно къ другимъ видамъ органическаго топлива.

Такимъ образомъ и органическія ткани нашего тѣла въ концѣ концовъ являются постройкой, созданной энергіей солнечнаго излученія. Вся теплота, развиваемая процессами окисленія въ нашемъ организмѣ, и всякій шагъ нашъ—проявленія все той же энергіи. Мы видимъ, что поэтическое названіе „сына солнца“, издавна данное человѣку, оправдывается съ такой точки зрѣнія, которая съ перваго взгляда не имѣетъ съ поэзіей ничего общаго.

Послѣ всего сказаннаго ясно, что источники энергіи, которыми пользуется для практическихъ цѣлей нетолько первобытный, но и культурный человѣкъ, являются лишь преобразованной энергіей солнечнаго излученія. Новѣйшія изобрѣтенія, касающіяся примѣненій электричества, отнюдь не выходятъ за эти рамки, потому что энергія всѣхъ нашихъ электрическихъ токовъ возникаетъ не иначе, какъ чрезъ затрату другихъ формъ энергіи, въ концѣ концовъ приводящихся къ энергіи солнечныхъ лучей[1].

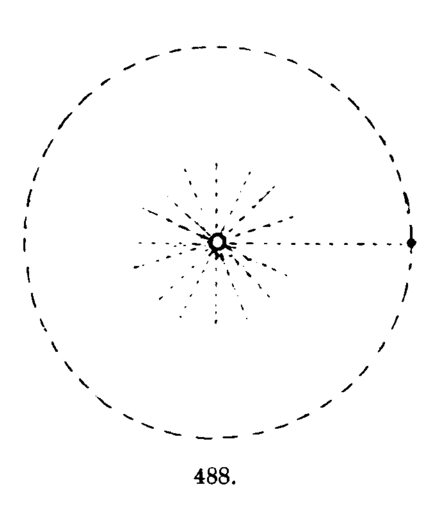
628. Общее количество энергіи, получаемое землею отъ солнца, конечно очень велико. Опыты и вычисленія показываютъ, что годового притока теплоты отъ солнца было бы достаточно, чтобы расплавить ледяную кору толщиною въ 54 метра (25 саженъ), которая покрывала бы собою всю землю[2].

Но о громадности всей энергіи солнечнаго излученія еще нельзя составить себѣ понятія по тѣмъ дѣйствіямъ, которыя производятся ею на нашей землѣ, какъ бы велики они намъ не казались. Надо принять въ разсчетъ, что приходящееся на долю земного шара количество энергіи совершенно ничтожно сравни-

[1] Можно указать лишь немного процессовъ на землѣ, которые стоятъ внѣ этого источника. Они частью собственно земного происхожденія (вулканическія явленія, химическая энергія самородной сѣры и т. п.), частью космическаго (работа приливовъ и отливовъ,—обусловливаемая отчасти тоже солнцемъ, но не его лучами, — и ничтожная энергія сгоранія метеоритовъ). Вопросъ о происхожденіи энергіи „минеральнаго топлива“, нефти, какъ упомянуто выше, еще остается открытымъ.

[2] См. также § 487.

тельно съ тѣмъ, какое посылается солнцемъ въ пространственныя бездны. Гигантскій раскаленный шаръ, составляющій солнце, испускаетъ лучистую энергію равномѣрно во всѣ стороны (рис. 488) и могъ бы покрыть своими лучами, на разстояніи земли, поверхность, радіусъ которой равняется 150 милліонамъ километровъ (140 милл. верстъ); простое вычисленіе (требующее однако нѣкоторыхъ свѣдѣній изъ геометріи) показываетъ, что вся эта поверхность больше той ея доли, которую на ней занимаетъ земля, въ $2^1/_4$ милліарда (2250000000) разъ: во столько разъ слѣдовательно общее количество испускаемой солнцемъ энергіи больше того, которое улавливается землею! Конечно никакія другія сравненія не помогли бы намъ лучше представить себѣ все это колоссальное количество энергіи.



488.

Каковы судьбы ея въ міровомъ пространствѣ—мы не знаемъ. Но что она распространяется не чрезъ абсолютную пустоту, а при посредствѣ нѣкоторой міровой среды,—эта мысль съ большою настойчивостью уже давно навязывалась человѣческому уму. Въ современной физикѣ длинный рядъ фактовъ приводитъ къ той же мысли. Поэтому умѣстно будетъ еще разъ бросить взглядъ на роль гипотезы о міровой или эфирной средѣ въ толкованіи явленій, лучшимъ образцомъ которыхъ можетъ служить распространеніе солнечнаго свѣта и тепла.

Обзоръ явленій, обусловливаемыхъ нашей „атмосферною средою“.

629. Нѣтъ надобности далеко ходить за тѣмъ, чтобы видѣть все значеніе матерьяльной среды, въ которой совершаются явленія. Достаточно вспомнить, какое множество явленій нашей земной природы объясняются

именно свойствами атмосфернаго воздуха, среды, въ которой мы живемъ. Или возьмемъ другой примѣръ: предположимъ, что рыба была бы разумнымъ существомъ, способнымъ изучать окружающій ея міръ. Если бы она не знала, что живетъ въ водѣ, не знала бы свойствъ своей среды, — то насколько правильны могли бы быть ея представленія о явленіяхъ, совершающихся въ этой средѣ?

Здѣсь кстати будетъ—прежде чѣмъ перейти къ міровой средѣ—сдѣлать общій обзоръ ряда явленій, въ толкованіи которыхъ свойства воздуха играютъ рѣшающую роль; только теперь, когда мы ознакомились съ разными отдѣлами физики, этотъ обзоръ можетъ быть сколько-нибудь полнымъ.

Начнемъ съ явленій, обусловленнымъ механическими свойствами воздуха. Дѣйствія вѣтра, движущаго и гнущаго деревья, разрушительныя послѣдствія бури и т. п. мы очень просто объясняемъ себѣ давленіемъ, которое производится на предметы движущимся воздухомъ, и хорошо знаемъ, что выдержать это давленіе безъ вреда можетъ лишь достаточно прочный предметъ. Какъ далеки отъ дѣйствительности были объясненія древнихъ, приписывавшихъ тѣ же дѣйствія прихоти или гнѣву своихъ многочисленныхъ божествъ и въ жертвоприношеніяхъ искавшихъ защиты отъ гибели!

Мы теперь знаемъ, что вода во „всасывающемъ“ насосѣ поднимается вслѣдствіе атмосфернаго давленія, обусловленнаго тяжестью и упругостью воздуха. Въ минувшія времена, когда почти ничего еще не было извѣстно о механическихъ свойствахъ воздуха, ученые представляли себѣ дѣло совсѣмъ иначе: такъ какъ при вытягиваніи поршня подъ нимъ образовалось бы безвоздушное или „пустое“ пространство, если бы оно не заполнялось водою, то поднятіе жидкости объясняли себѣ нѣкоторымъ „стремленіемъ заполнить пустоту“, какъ бы „боязнью пустоты“ (horror vacui) въ природѣ. За неимѣніемъ лучшаго, этимъ объясненіемъ приходилось довольствоваться, пока не было обращено серьезное вниманіе на то, что вода поднимается вслѣдъ за поршнемъ не выше опредѣленной границы (около 5 саж.). „Боязни пустоты“ оказалось недостаточно, а появившееся около того же времени ученіе о тяжести и давленіи воздуха дало факту надлежащее

разъясненіе. Въ настоящее время, правда, никто не будетъ серьезно ссылаться на боязнь пустоты, чтобы объяснить себѣ поднятіе воды въ насосѣ; тѣмъ не менѣе, понятія о разныхъ явленіяхъ „всасыванія“, „втягиванія“, „присасыванія“ и пр. въ нашемъ обиходѣ все же довольно смутны и сбивчивы—въ зависимости отъ неясныхъ житейскихъ представленій о механическихъ свойствахъ атмосфернаго воздуха.

Отчего поднимается аэростатъ? Сплошь и рядомъ можно услышать отвѣтъ: потому что онъ наполненъ газомъ, который по легкости „стремится вверхъ“. Если бы мы не знали, что въ дѣйствительности это опять слѣдствіе атмосфернаго давленія, то пожалуй могли бы даже объяснить себѣ поднятіе дѣйствіемъ нѣкоторой „отталкивательной“ силы между землею и аэростатомъ. А темный, невѣжественный человѣкъ не прочь увидѣть въ этомъ и проявленіе „нечистой силы“... Правильныя понятія о механическихъ свойствахъ воздуха сразу вносятъ сюда простоту и ясность, показывая намъ, что ни аэростатъ, ни нагрѣтый воздухъ, ни легкій газъ сами по себѣ никакого „стремленія вверхъ“ не обнаруживаютъ, а просто выталкиваются болѣе тяжелымъ окружающимъ воздухомъ, занимающимъ ихъ мѣсто.

Съ немалымъ трудомъ мы привыкаемъ къ мысли, что всѣ тѣла падали бы одинаково скоро, если бы падали совершенно свободно, подъ дѣйствіемъ только силы тяжести. И наше обыденное ложное понятіе о паденіи,—бывшее, надо замѣтить, предметомъ горячихъ споровъ въ наукѣ прошедшихъ временъ,—связано конечно съ тѣмъ, что сопротивленіе воздуха сильно задерживаетъ движеніе сравнительно легкихъ предметовъ и едва замѣтно въ случаѣ тяжелыхъ.

Малѣйшія частички тумана и пыли падаютъ въ воздухѣ чрезвычайно медленно: онѣ долго могутъ оставаться „взвѣшенными“ въ воздухѣ. Это обусловливается нѣкоторымъ внутреннимъ треніемъ или „вязкостью“ воздуха. Отсюда—возможность образоваться облаку, тучѣ. Наблюденія кромѣ того показали, что мельчайшія капельки воды, составляющія массу тумана или облака, образуются именно вокругъ носящихся въ воздухѣ твердыхъ частицъ: безъ участія послѣднихъ образованіе дождевыхъ капель было бы очень затруднено, и осажденіе атмосферной влаги происходило бы совсѣмъ иначе, чѣмъ въ дѣйствительности.

Благодаря взвѣшеннымъ въ воздухѣ частичкамъ твердыхъ тѣлъ и тумана, сами по себѣ невидимые солнечные лучи часто являются намъ свѣтлыми полосами, а это, въ свою очередь, закрѣпляетъ въ насъ обыденное представленіе о свѣтовыхъ лучахъ, какъ о чемъ-то такомъ, что видимыми полосками или нитями расходится отъ свѣтового источника.

Микроскопически-малыя живыя существа (микроорганизмы) находятъ въ воздухѣ среду, въ которой они, благодаря ея „вязкости“, могутъ удерживаться неопредѣленно долго; такимъ образомъ они разносятся и проникаютъ почти всюду, куда только проникаетъ воздухъ, а съ этимъ связано неисчислимое множество процессовъ, какъ поддерживающихъ жизнь на землѣ, такъ и подавляющихъ ее (заразныя болѣзни).

Богатый міръ звуковъ создается для насъ чрезъ посредство воздуха—благодаря его упругости. Отраженіемъ воздушныхъ волнъ мы очень просто объясняемъ себѣ эхо, которое въ древности склонны были приписывать живущимъ въ лѣсахъ мифическимъ существамъ, и которое для наивнаго пониманія ребенка представляется какъ бы отвѣтнымъ откликомъ „невидимки“.

Приблизительное постоянство температуры кипѣнія воды обусловлено атмосфернымъ давленіемъ. Повсемѣстно совершающееся медленное испареніе воды происходило бы въ отсутствіи воздуха совсѣмъ иначе: оно превратилось бы въ бурное кипѣніе. Мало того. Вода является въ видѣ жидкости—въ открытомъ вмѣстилищѣ—только благодаря присутствію воздуха: въ пустотѣ ледъ прямо превращается въ паръ безъ промежуточнаго перехода въ состояніе жидкой воды.

Множество химическихъ явленій связано съ тѣмъ, что наша атмосфера имѣетъ тотъ, а не иной составъ: таково напр. ржавленіе металловъ, образованіе окалины на ихъ поверхности при накаливаніи, горѣніе, гніеніе,—не говоря уже о химическихъ процессахъ, связанныхъ съ дыханіемъ и поддерживающихъ нашу жизнь. Во времена, когда составъ воздуха еще не былъ извѣстенъ, явленія горѣнія представляли собою загадку, подававшую поводъ къ немалымъ противорѣчіямъ и спорамъ. Въ частности, увеличеніе вѣса при образованіи окалины металловъ пытались объяснить себѣ выдѣ-

леніемъ изъ металла нѣкоторой чрезвычайно легкой матеріи, названной „флогистономъ“, и всякое горѣніе разсматривали какъ процессъ выдѣленія флогистона, не давая себѣ впрочемъ достаточно яснаго отчета, что̀ за вещество флогистонъ. Послѣ того, какъ въ концѣ XVIII вѣка была выяснена роль кислорода, всѣ подобныя догадки отошли мало по малу въ область преданій. Кромѣ того для насъ нынѣ вполнѣ ясна вся условность разграниченія „горючаго“ отъ „поддерживающаго горѣніе“ (въ водородной атмосферѣ „поддерживающимъ горѣніе“ былъ бы водородъ, а кислородъ явился бы „горючимъ“ газомъ); мы знаемъ, что вода вовсе не „порождается“ водородомъ (откуда именно названіе этого газа), а происходитъ чрезъ соединеніе водорода и кислорода (въ водородной атмосферѣ порождающимъ воду—водородомъ—представился бы кислородъ, такъ какъ онъ образовалъ бы воду при сжиганіи). И т. д. Нельзя не упомянуть еще и о томъ, что таинственный процессъ питанія и роста растеній является намъ въ его настоящемъ свѣтѣ только благодаря знанію состава воздуха.

Оптическія свойства атмосфернаго воздуха — также обильный источникъ крѣпко укоренившихся въ насъ представленій. Разсѣяніе свѣта воздухомъ и носящимися въ немъ посторонними частичками—причина того, что глазъ нашъ днемъ непрерывно возбуждается извнѣ, почему мы и видимъ окружающее насъ пространство какъ бы „наполненнымъ свѣтомъ“; совсѣмъ иное было бы въ случаѣ отсутствія атмосферы; пространство надъ нами должно бы было казаться намъ совершенно чернымъ. Синева неба, съ ея различнѣйшими оттѣнками, и все богатство красокъ заката, какъ мы знаемъ, связаны съ присутствіемъ воздуха.—Благодаря преломленію лучей, поступающихъ въ атмосферу изъ міроваго пространства, астрономъ долженъ направлять свои трубы не въ точности по тому направленію, въ которомъ въ дѣйствительности находится наблюдаемая имъ звѣзда; солнце и луна представляются намъ на горизонтѣ сплющенными; мало того: въ моментъ, когда они въ дѣйствительности только что зашли за горизонтъ, мы еще видимъ ихъ—ихъ изображеніе—именно благодаря атмосферному преломленію. Когда однородность атмосферы нарушается сверхъ обычной мѣры, создаются условія для появленія миражей, которые способны

совершенно разстроить столь привычное намъ ощущеніе реальности окружающаго. Еслибы однородность воздуха часто и сильно нарушалась, то наше сужденіе о дѣйствительномъ и кажущемся было бы чрезвычайно затруднено.

Величественныя электрическія явленія въ атмосферѣ, производящія грозу, опять-таки связаны съ опредѣленными физическими свойствами воздуха: съ его способностью наэлектризовываться и дурной электрической проводимостью.

Было бы крайне затруднительно перечислить все то множество явленій, которое объясняется свойствами нашей атмосферы. Собранные здѣсь примѣры (большинство которыхъ тамъ и сямъ уже встрѣчались раньше) достаточно убѣдительно показываютъ, чтъ съ опредѣленными физическими и химическими свойствами окружающей насъ матерьяльной среды тѣснѣйшимъ образомъ связано не только наше существованіе, но и наше обыденное міропониманіе.

Что приводитъ къ догадкамъ о міровой средѣ?

830. Взглянемъ теперь на другую—еще болѣе обширную—область явленій, для истолкованія которыхъ физика именно вынуждена обратиться къ поискамъ міровой среды, или мірового эфира. На первомъ планѣ мы встрѣчаемся здѣсь съ распространеніемъ отъ солнца и вообще раскаленныхъ тѣлъ чего-то, что̀ производитъ въ нашемъ глазу впечатлѣніе свѣта и цвѣта, а на поверхности нашей кожи — ощущеніе тепла, что̀ распространяется чрезъ „пустоту“, производимую нашими совершеннѣйшими аппаратами, какъ и чрезъ „міровую пустоту“, притомъ съ огромною скоростью, что̀ отражается и преломляется,—однимъ словомъ того, что̀ мы по-просту называемъ „лучами“, а болѣе научно—„лучистой энергіей“. Распространеніе послѣдней мы уже никоимъ образомъ не можемъ приписать воздуху или какому-либо другому воздухообразному тѣлу, тѣмъ болѣе, что всякая газовая среда, хотя бы и чрезвычайно разрѣженная, неизбѣжно задерживаетъ, поглощаетъ лучистую энергію. Если остановить вниманіе только на этихъ явле-

ніяхъ, то сама собою напрашивается догадка о существованіи въ мірѣ особаго носителя и передатчика лучистой энергіи.

Но къ тому же приводятъ электрическія и магнитныя явленія со многими ихъ особенностями, которыя не поддаются истолкованію на основѣ всего того, что мы знаемъ о свойствахъ и строеніи обыкновенной матеріи. Таковы напр. способы возбужденія магнитнаго и электрическаго состояній, притяженіе и отталкиваніе между наэлектризованными тѣлами и между магнитами, распространеніе электрическихъ и магнитныхъ дѣйствій на разстоянія и пр. Въ частности, изученіе того, какъ именно электромагнитныя дѣйствія распространяются въ окружающемъ ихъ пространствѣ, привело къ объединенію электрическихъ и свѣтовыхъ (вообще лучистыхъ) явленій, на почвѣ объясненія ихъ свойствами одной и той же міровой среды, и послужило толчкомъ къ оцѣнкѣ ея великой роли въ природѣ. Едва-ли будетъ преувеличеніемъ сказать, что для многихъ современныхъ физиковъ [1] эфиръ такая же необходимость, какъ для объясненія цѣлаго ряда упомянутыхъ раньше явленій – наша воздушная среда. Но вопросъ о свойствахъ эфира несравненно труднѣе, такъ какъ эфиръ долженъ проницать собою всѣ тѣла и не можетъ быть собранъ въ сосудъ подобно напр. воздуху. О свойствахъ эфира можно лишь пока дѣлать догадки по явленіямъ, которыя ему приписываются, подобно тому, какъ нѣсколькими столѣтіями раньше рядъ явленій заставилъ признать вѣсомость и упругость атмосфернаго воздуха—среды, о которой въ болѣе раннія времена господствовали очень смутныя представленія.

Какъ бы ни былъ разрѣшенъ вопросъ о міровой средѣ въ будущемъ, въ настоящее время во многихъ научныхъ сочиненіяхъ принято раздѣлять область физики на физику матеріи и физику эфира.

Мы вынуждены очень съузить нашу задачу. Сложный и трудный вопросъ о свойствахъ самого эфира не можетъ здѣсь занимать насъ. Въ слѣдующей главѣ мы коснемся ближе, чѣмъ это

[1] Нѣкоторые считаютъ возможнымъ обходиться и безъ гипотезы объ эфирѣ.

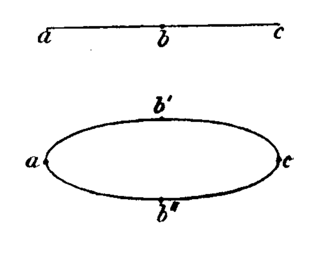
было сдѣлано въ главахъ о звукѣ и свѣтѣ, лишь нѣкоторыхъ особенностей волнообразнаго движенія въ обычныхъ матерьяльныхъ срединахъ и въ эфирѣ и бросимъ взглядъ на тѣ широкія обобщенія, къ которымъ на этой почвѣ путемъ аналогій приходитъ современная физика.

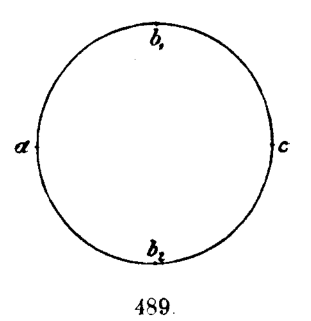
XXXV.

О колебательномъ и волнообразномъ движеніи. Электромагнитныя волны въ эфирѣ.[1]

Нѣкоторыя характеристичныя особенности колебательнаго движенія.

631. Одно изъ самыхъ распространенныхъ въ природѣ движеній есть движеніе періодическое, т. е. такое, при которомъ точка (для простоты мы предполагаемъ именно движущуюся точку) чрезъ опредѣленное время снова возвращается въ прежнее мѣсто пространства. Разъ начавшееся періодическое движеніе распространяется волнообразно въ окружающей средѣ—въ воздухѣ или водѣ, въ любомъ твердомъ, жидкомъ или газообразномъ тѣлѣ, или наконецъ, какъ обыкновенно говорятъ, въ пустотѣ, т. е. въ пространствѣ, которое, по преобладающему въ физическихъ наукахъ взгляду, не пусто, а заполнено міровымъ эфиромъ.





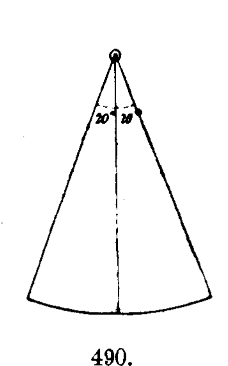
489

Можно въ извѣстномъ смыслѣ отличить два рода періодическихъ движеній: колебаніе и вращеніе. Но изъ слѣдующаго примѣра видно, что колебаніе—лишь частный случай вращенія. Представимъ себѣ, что точка a (рис. 489) движется черезъ b къ c, а потомъ обратно черезъ b къ a и т д.: мы имѣемъ колебательное движеніе. Но положимъ, что точка движется лишь немного иначе — отъ a черезъ b' къ c и возвращается къ a чрезъ b''; мы будемъ уже имѣть дѣло съ вращеніемъ, напр.

[1] §§ 631—635, 640, 641 и 643 изложены съ нѣкоторыми измѣненіями по F. Auerbach „Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre", 1906. („Основныя понятія современнаго естествознанія").

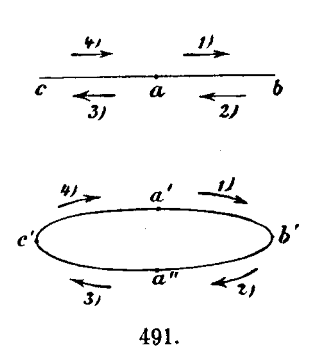
по эллиптическому пути [1]. Измѣняя движеніе точки въ томъ же смыслѣ все болѣе и болѣе, мы приходимъ наконецъ къ вращенію по круговому пути ab_1cb_2a. Итакъ между всѣми вращательными движеніями по кругу или по эллипсамъ болѣе или менѣе растянутой формы есть только одно, состоящее изъ прямолинейнаго колебательнаго движенія впередъ и обратно; колебаніе является предѣльнымъ случаемъ вращенія. Поэтому часто и вращеніе называютъ колебаніемъ: круговымъ, эллиптическимъ и т. д., а въ противоположность ему колебаніе собственно называютъ прямолинейнымъ колебаніемъ.

Разстояніе, на которое колеблющаяся точка удаляется въ ту и другую сторону отъ своего средняго положенія (напр. ab или bc на верхнемъ чертежѣ рис. 489), называется амплитудою колебанія [2]. Это разстояніе обыкновенно выражаютъ въ линейныхъ единицахъ, напр. въ сантиметрахъ; иногда же, какъ напр. при маятникѣ, предпочитаютъ выражать амплитуду въ угловыхъ градусахъ (рис. 490). При вращеніи собственно объ амплитудѣ говорить не приходится, потому что нѣтъ точекъ поворота; но можно, напр. когда колебанія происходятъ по эллипсу, подъ амплитудой понимать половину его наибольшаго поперечника (половину длины ac на второмъ чертежѣ рис. 489).



490.

632. Подъ періодомъ колебанія разумѣютъ время, по истеченіи котораго точка возвращается въ то же самое мѣсто и пріобрѣтаетъ прежнее направленіе и прежнюю скорость движенія. Въ случаѣ вращенія періодъ называется также „временемъ обращенія", а при колебаніи „временемъ колебанія". Въ первомъ случаѣ названіе не вызываетъ никакихъ недоразумѣній, и можно было бы ограничиться однимъ условіемъ: чтобы точка возвращалась въ свое прежнее мѣсто. Но въ случаѣ колебанія можетъ возникнуть сомнѣніе, подразумѣвается ли движеніе только впередъ или только назадъ, или же то и другое вмѣстѣ. Нашъ способъ разсмотрѣнія очевидно предполагаетъ движеніе впередъ и обратно, ибо одно движеніе впередъ еще не приводитъ насъ въ исходную точку. Если напр. мы начинаемъ со средины a (рис. 491) и именно движеніемъ вправо, то послѣ поворота въ b и возврата въ a мы, правда, достигнемъ первоначальнаго положенія точки, но не прежняго направленія движенія, которое теперь происходитъ справа налѣво; мы должны продолжать движеніе до c, здѣсь повернуть и вторично возвратиться въ a: только тогда положеніе точки и направленіе ея движенія станутъ такими, какъ первоначально. Ясно, что опредѣляемое такимъ образомъ „время колебанія" — для колебательнаго движенія то же, что „время обращенія" для вращательнаго; это прямо видно изъ сравненія съ вращеніемъ $a'b'a''c'$. Къ сожалѣнію по этому поводу не существуетъ единства въ разныхъ случаяхъ, и отсюда происходитъ путаница. Напримѣръ въ случаѣ маятника каждое перемѣщеніе въ одну сторону (вправо или влѣво) считается за одно колебаніе, а его продолжительность называется временемъ колебанія; какъ мы знаемъ, это время для маятника опредѣленной длины принимается даже за единицу времени, называемую секундой. Въ объясненномъ выше смыслѣ общепринятому „секундному маятнику" отвѣчало бы слѣдовательно „время колебанія" не въ одну, а въ двѣ секунды. Но здѣсь существуетъ все-таки единообразіе у разныхъ національностей; въ случаѣ же музыкальныхъ колебаній дѣло обстоитъ хуже: въ Германіи подъ колебаніемъ подразумѣваютъ движеніе въ ту и другую сторону, а во Франціи— только въ одну; отсюда напр. время колебанія нормальнаго камертона (первое дискантовое la), служащаго для настройки музыкальныхъ инструментовъ, въ Германіи $^1/_{435}$ секунды, а во Франціи $^1/_{870}$. Поэтому во избѣжаніе недоразумѣній прибѣгаютъ, гдѣ это нужно, къ выраженіямъ: полныя (или двойныя) колебанія и простыя (или одиночныя).



491.

Во многихъ случаяхъ удобнѣе приводить не время, въ теченіе котораго совершается одно обращеніе или одно колебаніе, а число обращеній или колебаній въ одну секунду. Тогда прибѣгаютъ къ выраженіямъ: „частота" или „повторяемость" колебаній; но иногда просто говорятъ „число колебаній", а при вращательномъ движеніи также „число оборотовъ". Напр. для упомянутаго выше камертона число или повторяемость колебаній=435 въ секунду.

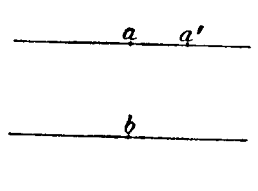
633. Какъ часто въ жизни мы встрѣчаемся съ понятіемъ „періода", показываютъ слѣдующіе немногіе примѣры на выборъ. Продолжительность сутокъ и года, высота музыкальныхъ тоновъ, цвѣта—все это сводится къ періодическимъ движеніямъ. Токи, служащіе для электрическаго освѣщенія, большею частью таковы, что періодически, много разъ въ секунду, мѣняютъ свое направленіе и силу („перемѣнные токи"). Чѣмъ чаще повторяются колебанія струны и воздушныхъ частицъ между нею и нашимъ ухомъ, тѣмъ выше воспринимаемый нами тонъ; чѣмъ быстрѣе колеблются частички всюду распространеннаго эфира, тѣмъ болѣе

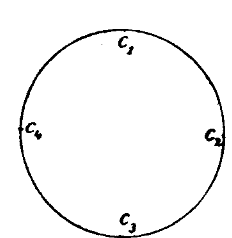
[1] Эллипсъ—замкнутая кривая, какою намъ представился бы кругъ въ перспективномъ изображеніи.

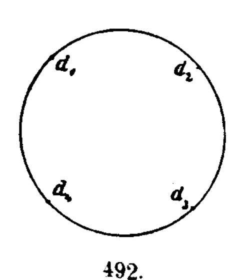
[2] Не надо смѣшивать ея съ „размахомъ", подъ которымъ понимается разстояніе между двумя крайними положеніями точки.

цвѣтъ лучей перемѣщается отъ краснаго чрезъ оранжевый, желтый, зеленый и синій къ фіолетовому. Границы повторяемости, между которыми колебанія вообще воспринимаются нашими чувствами, лежатъ примѣрно между 20 и 40000 для уха и 400—750 билліонами для глаза. Огромный промежутокъ, отдѣляющій въ отношеніи повторяемости колебаній (о другихъ качествахъ мы здѣсь конечно совсѣмъ не говоримъ) высшіе тона отъ „низшихъ спектральныхъ цвѣтовъ", частью заполняется такими колебаніями, которыя воспринимаются нашимъ тепловымъ чувствомъ (а точнѣе обнаруживаются термометрическими пріемами), и другими колебаніями, съ которыми мы познакомимся ниже. Наконецъ есть эфирныя колебанія, совершающіяся еще быстрѣе тѣхъ, которыя производятъ на нашъ глазъ свѣтовое впечатлѣніе: это колебанія, дѣйствующія на фотографическую пластинку, а также вѣроятно тѣ, къ которымъ приводятся лучи Рёнтгена.

Продолжительность или повторяемость разныхъ періодическихъ движеній въ природѣ конечно выражается чрезвычайно различными числами. Вотъ нѣсколько примѣровъ. Продолжительность періода, называемаго годомъ (время обращенія земли вокругъ солнца), равняется круглымъ счетомъ $31^1/_2$ милліонамъ секундъ; „повторяемость" этого періода выразилась бы въ секундахъ малою дробью, происшедшею отъ дѣленія единицы на $31^1/_2$ милліонъ. Время суточнаго обращенія земли соотвѣтствуетъ 86164 секундамъ (приблиз. на 4 минуты меньше 24 часовъ гражданскаго времени). Періодъ часовой стрѣлки = 43200 сек., минутной 3600 сек. Періодъ самыхъ большихъ морскихъ волнъ составляетъ около 30 секундъ, мелкой водяной зыби — около 0,2 сек.; повторяемость въ послѣднемъ случаѣ выразится числомъ $1:0{,}2 = 5$. Низшій воспринимаемый нами тонъ соотвѣтствуетъ повторяемости около 20 въ сек. (т. е. періоду въ $^1/_{20}$ или 0,05 секунды), нормальный тонъ *la*—435 (періодъ $^1/_{435}$ или 0,0023 сек.), а высшій изъ воспринимаемыхъ тоновъ — приблиз. 40000. Извѣстныя нынѣ эфирныя колебанія, начинаясь съ немногихъ въ секунду, достигаютъ колоссальнаго числа въ 3000 билліоновъ въ сек. (наиболѣе быстрыя ультрафіолетовыя).



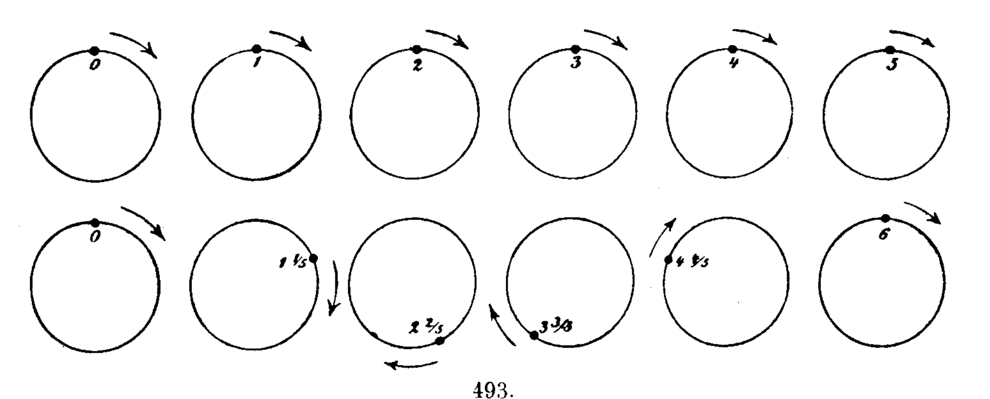




492.

634. Дальнѣйшей важной характеристикой колебательнаго или вращательнаго движенія является его фаза. Точки *a* и *b* (рис. 492), имѣя одинаковый періодъ и одинаковую амплитуду колебанія, могутъ однако находиться въ одно и то же

время въ разныхъ мѣстахъ проходимаго ими пути: въ моментъ, когда точка *b* только что начинаетъ колебаніе, точка *a*, начавшая двигаться раньше, находится уже въ *a'*. Тогда говорятъ, что оба колебанія имѣютъ разную фазу, — что между ними существуетъ разность фазъ. То же относится до обѣихъ обращающихся точекъ *c* и *d*: послѣдняя находится на своемъ пути позади первой. Если оба періода одинаковы, то разность фазъ очевидно остается всегда одной и тою же: обѣ точки имѣютъ разъ на всегда опредѣленную разность фазъ, которая можетъ быть и нулемъ или достигать полнаго колебанія; напр. при *a* и *b* разность фазъ равняется восьмой долѣ (полнаго) колебанія, а при *c* и *d*— восьмой долѣ оборота. Но если періоды различны, то разность фазъ будетъ постоянно измѣняться; если напр. обѣ точки начи-



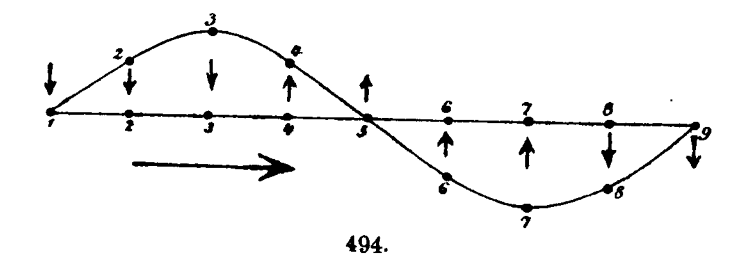
493.

наютъ колебаться одновременно, т. е. безъ разности фазъ, то вслѣдствіе неодинаковой продолжительности колебанія появится разность фазъ, которая все будетъ увеличиваться. Пусть напр. числа колебаній въ секунду относятся какъ $5:6$. Въ моментъ, когда первая точка закончила одно колебаніе, вторая успѣетъ сдѣлать уже $^1/_5$ слѣдующаго (рис. 493); при двухъ колебаніяхъ перваго рода будутъ сдѣланы 2 и $^2/_5$ второго, при трехъ — $3^3/_5$, при четырехъ—$4^4/_5$; конецъ пятаго колебанія уже какъ разъ совпадетъ съ концомъ шестого, такъ что разность фазъ снова сведется къ нулю, и обѣ точки какъ бы начнутъ свои колебанія заново.

Волнообразное движеніе.

635. Разсмотримъ происхожденіе волнообразнаго движенія на слѣдующемъ (воображаемомъ) примѣрѣ. Представимъ себѣ тѣло одного измѣренія, т. е. обладающую нѣкоторой массой линію, проще всего—прямую горизонтальную линію; пусть эта линія будетъ гибка, и пусть ея начальная точка совершаетъ колебанія

вверхъ и внизъ. Такъ какъ эта точка связана съ сосѣднею, то она будетъ увлекать ее за собою, сообщая и ей колебательное движеніе, которое будетъ имѣть тотъ же самый періодъ, но нѣсколько запаздывать въ фазѣ; отъ второй точки колебаніе точно такимъ же образомъ передастся третьей и т. д. Слѣдовательно въ тотъ моментъ, какъ первая точка, совершивъ полное



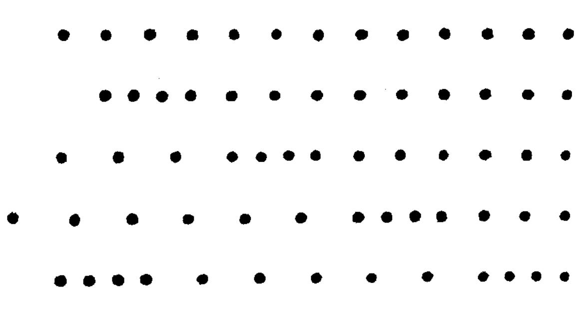
494.

колебаніе, вернулась сверху внизъ въ свое первоначальное положеніе (рис. 494), вторая еще не успѣла закончить колебанія (она еще находится на своемъ пути сверху), третья лишь начинаетъ свое движеніе книзу и т. д.; какая нибудь дальнѣйшая (на рис. 5-я) только что вернулась снизу въ свое первоначальное положеніе, т. е. совершила только половину колебанія; наконецъ въ нашемъ ряду точекъ мы приходимъ къ такой (на рис. 9-й), которая только что приступаетъ къ своему первому колебанію [1]. Итакъ прямая линія превратилась въ волнистую линію, дающую намъ пространственное расположеніе разныхъ точекъ въ одинъ и тотъ же моментъ времени. Изображенная на рисункѣ кривая называется волною, а разстояніе между двумя точками, находящимися въ одной и той же фазѣ колебанія,—длиною волны. Говоря иначе, длина волны есть разстояніе, на которое успѣваетъ распространиться волнообразное движеніе въ то время, какъ исходная частица (*1*) совершила одно полное колебаніе. (Если бы мы вслѣдъ за точкою *9* вычертили еще разъ ту же самую кривую, помѣтивъ цифрами *10*, *11*... точки, находящіяся въ одинаковыхъ фазахъ колебанія съ точками *2*, *3*..., то длиною волны было бы какъ разстояніе отъ *1* до *9*, такъ и разстояніе отъ *2* до *10*, отъ *3* до *11* и т. д.). Посрединѣ между точками *1* и *9* находится точка, которая только что закончила половину колебанія и слѣдовательно въ нашемъ случаѣ снова какъ разъ вернулась въ свое первоначальное положеніе; она дѣлитъ волну на двѣ полуволны, изъ которыхъ первая называется возвышеніемъ или валомъ, а вторая углубленіемъ или впадиной; высота вала

[1] Большою горизонтальной стрѣлкой обозначено на рис. направленіе распространенія колебаній (направленіе хода волнъ), а малыми вертикальными—направленія, въ которыхъ движутся (или начинаютъ двигаться) разныя точки волны въ одинъ и тотъ же моментъ времени.

или глубина впадины равняется величинѣ амплитуды. Частицы *5* и *1*, *6* и *2*, *7* и *3*, . . . , отстоящія одна отъ другой на половину длины волны, находятся въ противоположныхъ фазахъ колебанія.

Для этой волны очевидно характеристично то, что колебанія всѣхъ точекъ прямой линіи совершаются къ ней перпендикулярно; такую волну называютъ поперечною, а самыя колебанія—поперечными колебаніями. Противоположность имъ составляютъ


495.

продольныя колебанія и продольныя волны: здѣсь направленіе колебаній совпадаетъ съ самой линіей. На рис. 495, ради ясности, первоначальное и послѣдующія расположенія частицъ представлены отдѣльно. Въ этомъ случаѣ происходитъ послѣдовательное сближеніе и удаленіе точекъ, захватываемыхъ волною: образуются не валъ и впадина, а сгущеніе (уплотненіе) и разрѣженіе, и самая волна состоитъ изъ двухъ частей, сгущенной и разрѣженной, которыя распространяются подобно валу и впадинѣ предыдущаго случая. (См. также § 230).

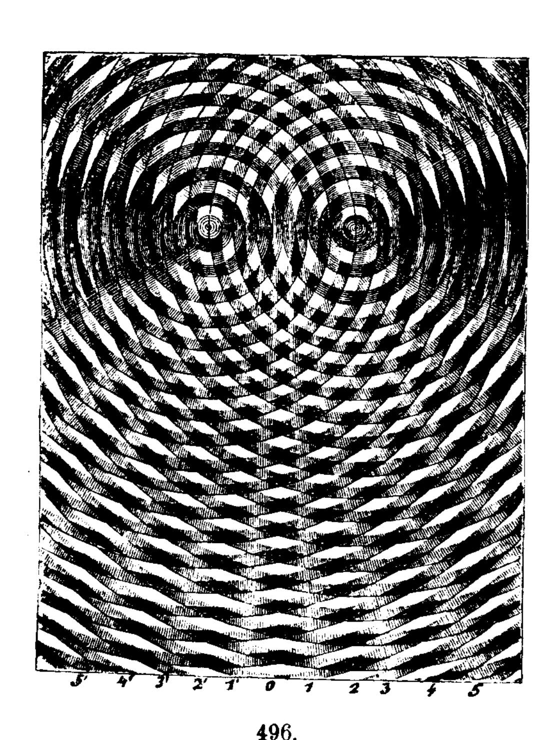
Взаимное наложеніе или интерференція водяныхъ и звуковыхъ волнъ.

636. Проводя раньше параллель между распространеніемъ звука и свѣта, мы уже касались въ § 390 замѣчательныхъ случаевъ взаимнаго наложенія волнъ. Это явленіе заслуживаетъ того, чтобы ознакомиться съ нимъ обстоятельнѣе.

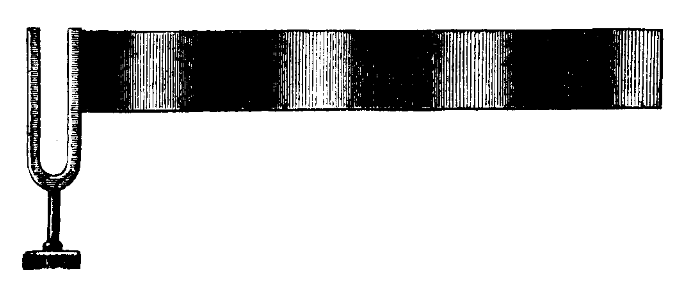
Рис. 496 даетъ нѣкоторое понятіе о томъ, что можно видѣть на поверхности ртути или воды, если изъ двухъ близлежащихъ точекъ исходятъ два ряда круговыхъ волнъ. Свѣтлыя и густо заштрихованныя части рисунка соотвѣтствуютъ мѣстамъ усиленія волнъ, а болѣе слабо заштрихованныя—мѣстамъ ослабленія или затишья; по нижнему краю рисунка мы имѣли бы напр. усиленіе посрединѣ (*0*) и въ точкахъ *2*, *4*..., *2′*, *4′*..., а ослабленіе въ точкахъ *1*, *3*, *5*..., *1′*, *3′*, *5′*.... Взаимное усиленіе и ослабленіе волнъ можно иногда наблюдать и на поверхности озера или рѣки, если одинъ рядъ волнъ правильно набѣгаетъ на другой.

Взаимное наложеніе волнъ, ведущее къ ихъ усиленію или ослабленію, называется интерференціей волнъ.

Не представляетъ особыхъ трудностей обнаружить это явленіе по отношенію къ звуковымъ волнамъ. Чтобы лучше понять приводимые ниже опыты и объясненія, посмотримъ сперва на нѣсколькихъ примѣрахъ, какъ вычисляется длина звуковой волны. „Длиною волны“, какъ было уже упомянуто выше, называется разстояніе, на которое успѣваетъ распространиться волнообразное движеніе въ то время, какъ колеблющаяся частица совершила одно полное колебаніе. Въ случаѣ волнъ на поверхности воды, длиною волны, говоря иначе, будетъ разстояніе, на которомъ умѣщаются слѣдующіе другъ за другомъ валъ и впадина, а въ случаѣ звуковыхъ — длина взятыхъ вмѣстѣ сгущенной и разрѣженной частей волны. Понятно, что звуковыя волны въ данной средѣ будутъ тѣмъ короче, чѣмъ чаще колебанія слѣдуютъ другъ за другомъ, т. е. чѣмъ тонъ выше. Чтобы вычислить длину воздушной волны, соотвѣтствующей тону заданной высоты, надо лишь знать число колебаній въ секунду и скорость звука въ воздухѣ, которая = 330 м./сек. Возьмемъ напр. тонъ *la* нормальнаго камертона, дѣлающаго 435 полныхъ колебаній въ секунду. Каждое колебаніе вѣтви камертона посылаетъ одну воздушную волну. (На рис. 497 изображенъ штриховкою рядъ волнъ, взятыхъ въ одномъ опредѣленномъ направленіи). Когда камертонъ закончитъ свое 435-е колебаніе, первое уже успѣетъ распространиться на разстояніе, которое звуковыя волны пробѣгаютъ въ 1 секунду, т. е. на 330 метровъ. Слѣдовательно на протяженіи 330 м. уложатся 435 волнъ, и каждая волна займетъ длину = $\frac{330}{435}$ метра, или около $^3/_4$ м., что немного больше аршина. Итакъ для опредѣленія длины (l) звуковой волны въ данной средѣ, стòитъ лишь скорость звука (v) въ этой средѣ раздѣлить на число (n) колебаній въ 1 сек. Это можно короче выразить такъ: $l = \frac{v}{n}$ или $n.\ l = v$. Въ водѣ, въ которой звуковыя волны распространяются въ 4 раза скорѣе, чѣмъ въ воздухѣ, длина волны того же (нормальнаго) *la* была бы въ 4 раза больше, т. е. около 3 м. Такимъ же образомъ легко найти, что длина воздушныхъ волнъ, соотвѣтствующихъ крайнимъ тонамъ, употребляемымъ въ музыкѣ, съ повторяемостью приблиз. въ 30 и 4000 въ секунду, будетъ около 11 м. для низшаго и около 8 сантим. для высшаго.

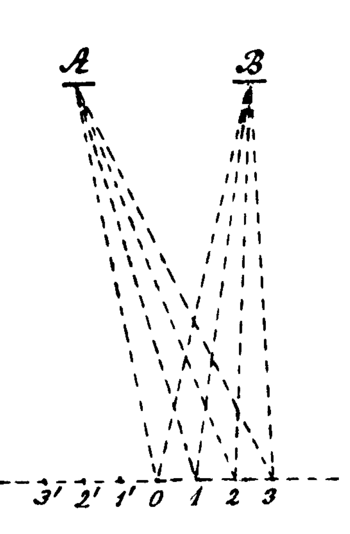


496.



497.

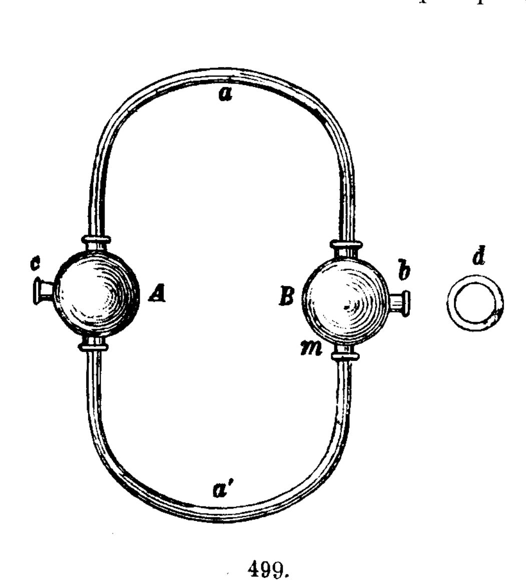
Теперь представимъ себѣ рядомъ двѣ звучащія пластинки *A* и *B* (рис. 498) и положимъ, что онѣ нетолько издаютъ одинакіе тона, но колеблются совершенно согласно—одновременно въ одну и ту же сторону („безъ разности фазъ“, см. § 634). Обратимъ вниманіе на ходъ звуковыхъ волнъ, распространяющихся отъ каждой изъ нихъ по близкимъ другъ къ другу направленіямъ (для этого надо представить себѣ обѣ пластинки ближе, чѣмъ это изображено на рисункѣ, ради его отчетливости). Воздушная частичка *0*, одинаково отстоящая отъ обѣихъ пластинокъ, очевидно получитъ отъ нихъ согласные между собою толчки, которые слѣдовательно должны будутъ усиливать другъ друга. Но представимъ себѣ другую воздушную частичку, *1*, разстояніе которой отъ пластинки *A* больше, чѣмъ отъ *B*, на длину половины волны того тона, который издается пластинками. Что здѣсь произойдетъ? Въ тотъ моментъ, какъ частичка получитъ отъ волны, по-



498.

сылаемой пластинкою A, толчекъ въ одномъ направленіи, она получитъ толчекъ противоположнаго направленія отъ волны, посылаемой пластинкою B, потому что точки, отстоящія одна отъ другой на полволны, имѣютъ движенія противоположныя. Слѣдовательно размахъ частички *1* будетъ меньше, чѣмъ въ каждомъ отдѣльномъ ряду волнъ, до ихъ взаимнаго наложенія, а въ частномъ случаѣ—если толчки прямо противоположны и одинаковой силы—движеніе совсѣмъ исчезнетъ: звука здѣсь не должно быть слышно. Частичка *2*, разстояніе которой отъ A дальше, чѣмъ отъ B, на длину цѣлой волны, окажется въ такихъ же условіяхъ, какъ O, потому что колебательное движеніе, распространяющееся отъ пластинки A, запоздаетъ на цѣлую волну сравнительно съ тѣмъ, которое доходитъ отъ B, и частичка будетъ отъ обоихъ рядовъ волнъ снова получать согласные толчки. Если разность длины путей, или разность хода волнъ, увеличится до $1^1/_2$ волнъ, напр. въ точкѣ *3*, то волны опять будутъ взаимно ослабляться и т. д. (Сравн. между собою рис. 498 и 496).

637. Послѣ этого будетъ понятно дѣйствіе слѣдующаго прибора, позволяющаго показать интерференцію звуковыхъ волнъ такимъ образомъ, что явленіе можетъ быть сразу наблюдаемо многими. Приборъ (изображенный на рис. 499 въ планѣ) состоитъ изъ двухъ шаровидныхъ стеклянныхъ сосудовъ (баллоновъ) одинаковой величины, съ тремя горлами, изъ которыхъ боковыя попарно сообщаются между собою резиновыми трубками a и a', а среднія (b, c) остаются открытыми. Передъ отверстіемъ b, неподалеку отъ него, производятъ тонъ, вдувая косвенную струю воздуха по краю цилиндра d (способъ, упоминавшійся раньше, въ главахъ о звукѣ, §§ 245 и 254). Звуковыя волны, пройдя чрезъ шаръ B, развѣтвляются затѣмъ по трубкамъ a, a' и снова сходятся въ A, гдѣ и произойдетъ взаимное наложеніе волнъ, дошедшихъ сюда двумя путями a и a'. Если длина этихъ путей одинакова (какъ именно изображено на рисункѣ), то понятно, что сгущенныя части волнъ одной вѣтви дойдутъ до A одновременно со сгущенными частями другой, а разрѣженныя одной совпадутъ съ разрѣженными другой; такимъ



499.

образомъ волны въ A будутъ усиливать другъ друга, и колебанія воздуха въ A, слагаясь изъ двухъ отдѣльныхъ частей, будутъ приблизительно столь же сильны, какъ въ B. Теперь замѣнимъ одну изъ трубокъ, напр. a', болѣе длинною, и именно настолько, чтобы путь a' сталъ длиннѣе пути a на половину длины волны того тона, который производится передъ отверстіемъ b. Что должно произойти? Въ то время, какъ по вѣтви a дойдетъ въ шаръ A напр. сгущенная часть волны, по другой, болѣе длинной, успѣетъ лишь дойти разрѣженная часть слѣдующей волны: частицы воздуха въ A получатъ одновременно толчки противоположныхъ направленій и приблизительно одинаковой силы, движеніе ихъ сведется почти къ нулю, и звуковое дѣйствіе при c почти исчезнетъ. Но удлинимъ трубку a' еще на половину длины волны нашего тона, такъ что путь a' станетъ длиннѣе a на цѣлую волну: понятно, что тогда колебанія, доходящія до шара A по трубкѣ a', будутъ запаздывать сравнительно съ тѣми, которыя направляются по a, уже на цѣлую волну: слѣдовательно волны опять наложатся другъ на друга такъ, что сгущеніе совпадетъ со сгущеніемъ, а разрѣженіе съ разрѣженіемъ, и звуковое дѣйствіе при c будетъ почти такое же, какъ первоначально, когда обѣ вѣтви были одинаковой длины. Можно было бы удлинить путь a' еще на полволны и тѣмъ снова ослабить звуковыя колебанія при c; дальнѣйшее удлиненіе трубки a' на полволны опять усилило бы ихъ и т. д.—Шары или баллоны A и B выбраны такъ, чтобы они служили резонаторами для тона, издаваемаго цилиндромъ d (настраиваемаго, въ свою очередь, приливаніемъ воды), а усиленіе и ослабленіе звуковыхъ колебаній въ A отмѣчается дѣйствіемъ ихъ на плаунное сѣмя, насыпаемое въ горлышко c, или на маленькое пламя вазелиновой лампочки (пріемы, описанные при резонаторахъ, § 254); благодаря этимъ особенностямъ прибора, явленія именно хорошо могутъ быть наблюдаемы со стороны, безъ того, чтобы нужно было прикладывать ухо къ отверстію c [1].

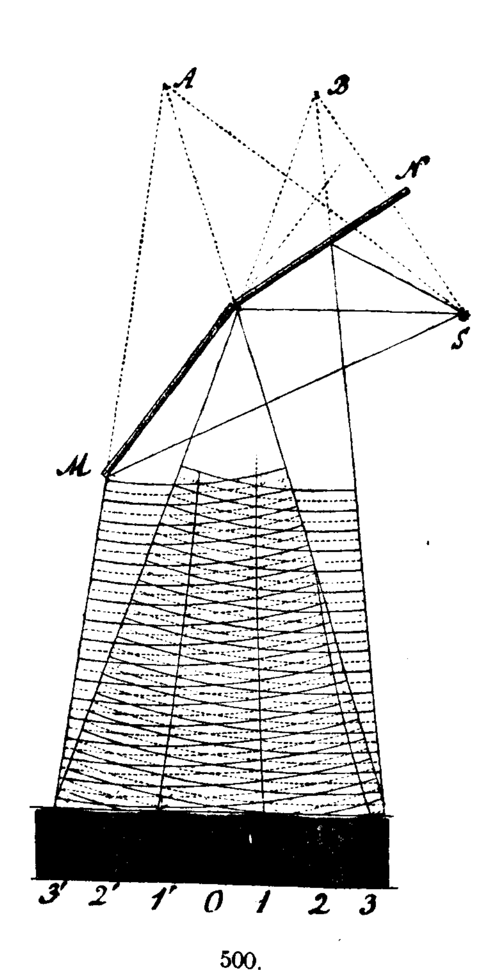
Въ § 390 былъ описанъ опытъ съ двумя камертонами, въ которомъ интерференція тоновъ обусловливалась разностью фазъ исходныхъ колебаній. Опытъ можно произвести и иначе, взявъ только одинъ камертонъ. Если, ударивъ по камертону, держать его вертикально возлѣ уха и медленно поворачивать около оси, то въ нѣкоторыхъ положеніяхъ звукъ почти совсѣмъ исчезаетъ — вслѣдствіе интерференціи волнъ, идущихъ отъ обѣихъ вѣтвей камертона. Здѣсь интерференція причиняется разностью хода волнъ, посылаемыхъ его вѣтвями.

---

[1] Нѣкоторыя подробности устройства прибора описаны въ моей брошюрѣ „Простые физическіе опыты и приборы“, изд. Сытина, 1908, стр. 38.

Интерференція свѣта; длина свѣтовыхъ волнъ.

638. Наблюдать интерференцію свѣта значительно труднѣе, чѣмъ звука, и мы не станемъ останавливаться на относящихся сюда опытахъ, а дадимъ лишь схематическое описаніе одного случая, представляющаго замѣчательное сходство съ упомянутыми выше явленіями интерференціи водяныхъ и звуковыхъ волнъ (см. рис. 496 и 498). Пусть свѣтъ изъ точки *S* падаетъ на два плоскихъ зеркальца *M*, *N*, образующихъ между собою уголъ почти въ 180° (на рис. 500 онъ для ясности сдѣланъ значительно меньше): тогда въ зеркалахъ получатся два очень близкихъ одно къ другому точечныхъ изображенія *A*, *B*. Это будутъ какъ бы два свѣтовыхъ источника, которые посылаютъ отъ себя свѣтовые пучки почти въ одинаковыхъ направленіяхъ: пучки эти взаимно налагаются и интерферируютъ. Пусть дуги, проведенныя въ нижней половинѣ рисунка сплошными линіями, соотвѣтствуютъ „возвышеніямъ" волнъ, а пунктирныя—„впадинамъ"; тогда видно, что волны, налагаясь другъ на друга, въ извѣстныхъ направленіяхъ должны усиливаться, въ другихъ — ослабляться (сравн. съ рис. 496). Въ дѣйствительности свѣтъ направляютъ чрезъ узкую вертикальную щель (въ *S*). Тогда на экранѣ получается рядъ чередующихся свѣтлыхъ и темныхъ полосокъ: посрединѣ, въ *O*, т. е, въ равныхъ разстояніяхъ отъ *A* и *B*,—свѣтлая; въ точкахъ *1* и *1′*, гдѣ разность хода (считая отъ *A* и *B*) равняется полуволнѣ, появляются темныя полоски; въ *2* и *2′*, гдѣ разность хода соотвѣтствуетъ уже цѣлой



500.

волнѣ,—опять свѣтлыя; въ *3* и *3′*, при разности длины путей въ $1^1/_2$ волны,—темныя и т. д. (Надо имѣть въ виду, что нашъ чертежъ изображаетъ расположеніе частей въ планѣ, а получающійся на экранѣ рисунокъ слѣдуетъ конечно представлять себѣ обращеннымъ въ сторону смотрящаго).

Вернемся еще разъ къ рис. 498, соотвѣтствующему интерференціи звуковыхъ волнъ. Легко сообразить, что промежутки между тѣми точками (*1*, *3*, . . .), въ которыхъ происходитъ уничтоженіе колебаній, будутъ тѣмъ больше, чѣмъ больше длина волны тона, производимаго пластинками *A*, *B*, потому что тѣмъ больше разстояніе, на которое надо отступить въ сторону по направленію *0—3*, чтобы разность хода составила полволны. Отсюда ясно, что по разстоянію между точками *1*, *3*, ... можно судить объ относительной длинѣ волны тоновъ разной высоты. И что же обнаруживается въ описанномъ нами случаѣ интерференціи свѣта? Если производить опыты съ однородными цвѣтными лучами, то темныя полоски оказываются раздвинутыми неодинаково: въ случаѣ фіолетоваго всего меньше, синяго—немного больше, зеленаго еще больше и т. д.; всего больше разстояніе полосокъ въ случаѣ красныхъ лучей (примѣрно вдвое, чѣмъ для фіолетовыхъ). Соотвѣтственно этому и разстояніе между наиболѣе яркими (цвѣтными) мѣстами будетъ различно для каждаго рода лучей. Судя по сдѣланному выше замѣчанію, это прямо значитъ, что длина волны разныхъ спектральныхъ лучей различна, — что волны тѣмъ короче, чѣмъ больше показатель преломленія луча въ стеклѣ (см. § 310). Если теперь представимъ себѣ, что описанный нами опытъ (рис. 500) произведенъ съ бѣлымъ, напр. дневнымъ свѣтомъ, то положеніе цвѣтныхъ полосокъ для каждой изъ составныхъ частей бѣлаго будетъ разное: получится не простое чередованіе свѣтлыхъ и темныхъ полосокъ, а рядъ цвѣтныхъ, съ бѣлою полоскою посрединѣ (въ *O*). Поэтому явленіе интерференціи въ томъ видѣ, какъ оно описано выше (рис. 500), относится собственно къ однородному свѣту.

639. Но интерференціонныя полосы позволяютъ намъ идти и дальше простой оцѣнки относительной длины волнъ: онѣ даютъ возможность вычислить длину волны даннаго однороднаго свѣта—выразить ее въ общепринятыхъ единицахъ длины, напр. въ сантиметрахъ или миллиметрахъ. Взглянемъ опять на рис. 498, какъ болѣе простой: длина путей *A1* и *B1*, соотвѣтствующихъ первому мѣсту погашенія колебаній, разнится на полволны. Но длину этихъ путей легко опредѣлить на дѣлѣ нѣкоторыми измѣреніями и вычисленіями: отсюда узнаемъ и длину волны.

Для опредѣленія длины волнъ имѣются еще и другіе—болѣе точные—пріемы; но мы ихъ касаться не можемъ. Взглянемъ лишь

на нѣкоторые результаты. Длину свѣтовыхъ волнъ, какъ величину очень малую, чаще всего выражаютъ въ миллiонныхъ доляхъ миллиметра. Въ округленныхъ числахъ можно сказать, что длина волны крайняго краснаго свѣта около 750, а крайняго фiолетоваго—около 400 миллiонныхъ миллиметра (или около $7^1/_2$ и 4 десятитысячныхъ мм.). На толщину волоса съ головы человѣка первыхъ уложилось бы свыше сотни, а вторыхъ—почти вдвое больше [1]. Если теперь примемъ въ разсчетъ необычайную скорость распространенiя свѣта, то придемъ къ выводу, что повторяемость свѣтовыхъ колебанiй, считая на секунду времени, должна выражаться огромными числами. Въ самомъ дѣлѣ, въ одну секунду эфирныя колебанiя распространяются отъ ихъ источника уже на 300000 км.: на этомъ протяженiи умѣщаются всѣ волны, испускаемыя имъ въ теченiе секунды. Итакъ, чтобы найти число ихъ въ секунду, остается лишь узнать, сколько разъ длина волны содержится въ 300000 километрахъ. Обративъ послѣднее число въ миллиметры и раздѣливъ на длину волны, получимъ $\frac{300000\times1000\times1000}{0{,}000750} = 400$ биллiоновъ для краснаго цвѣта и $\frac{300000000000}{0{,}000400} = 750$ биллiоновъ для фiолетоваго.

Хотя числа, находимыя такимъ образомъ, поражаютъ непривычнаго своею громадностью, нельзя однако въ нихъ сомнѣваться, потому что и скорость свѣта, и длина волнъ много разъ измѣрялись помощью прiемовъ, заслуживающихъ полнаго довѣрiя [2].

Волны невидимыхъ спектральныхъ лучей отличаются отъ волнъ, производящихъ впечатлѣнiе на нашъ глазъ, только своею длиною. Самыя короткiя изъ нынѣ извѣстныхъ эфирныхъ волнъ, соотвѣтствующiя крайнимъ ультрафiолетовымъ лучамъ, имѣютъ длину около 0,0001 мм. (около десятитысячной мм.); слѣдов. имъ соотвѣтствовало бы 3000 биллiоновъ колебанiй въ секунду. Длина же крайнихъ инфракрасныхъ волнъ около $^1/_{16}$ мм. (приблиз. 5 биллiоновъ колебанiй въ сек.).

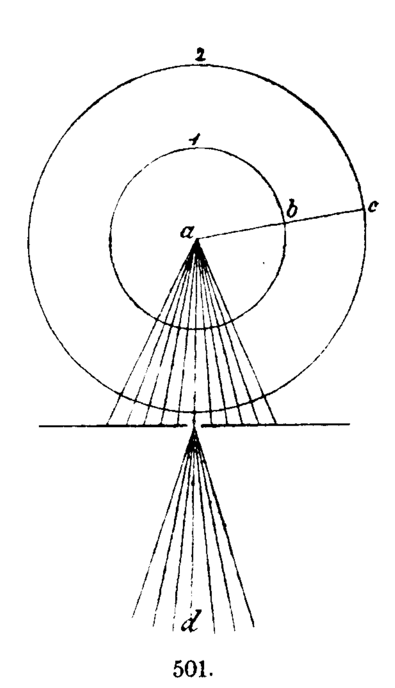
Дополнительныя свѣдѣнiя о „лучахъ".

640. Въ той области, которая характеризуется самыми разнообразными и самыми красивыми явленiями волнообразнаго

[1] Какъ ни мала длина свѣтовыхъ волнъ, она однако превышаетъ величину мелкихъ предметовъ, которые еще хорошо видны въ лучшiе микроскопы. Отсюда однако конечно не слѣдуетъ, чтобы свѣтовыя волны можно было увидѣть въ микроскопъ.

[2] Въ научныхъ курсахъ очень часто за единицу длины эфирныхъ волнъ принимается миллiонная доля миллиметра, которую обозначаютъ $\mu\mu$. Такимъ образомъ крайнiя длины воспринимаемыхъ нашимъ глазомъ волнъ выразятся чрезъ 400 $\mu\mu$ и 750 $\mu\mu$.

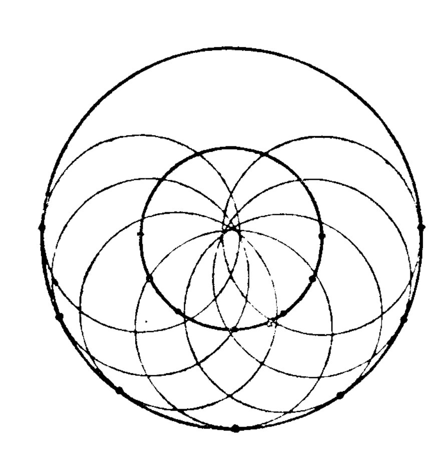
движенiя, въ области свѣта, на обыденномъ языкѣ говорятъ не о волнахъ, а о свѣтовыхъ лучахъ, проникающихъ въ нашъ глазъ. Выраженiе „лучъ" перешло и въ науку, притомъ не только примѣнительно къ свѣту: говорятъ также о „звуковыхъ", „тепловыхъ" и другихъ лучахъ. Однако съ развитiемъ знанiя оказалось, что понятiе о лучѣ въ примѣненiяхъ требуетъ большой осторожности, и чѣмъ точнѣе его хотятъ опредѣлить, тѣмъ болѣе оно расплывается. Это будетъ видно изъ слѣдующаго краткаго разбора дѣла. Положимъ, что отъ колеблющейся точки a (рис. 501) распространяется сферическая волна, достигающая чрезъ извѣстное время шаровой поверхности *1*; тогда было бы всего проще считать, что еще чрезъ нѣкоторое время она достигаетъ шаровой поверхности *2* и т. д., такъ что колебанiе, дошедшее напр. отъ a до b, будетъ далѣе распространяться въ томъ же самомъ направленiи къ c и пр.; въ такомъ случаѣ прямая линiя abc дѣйствительно была бы „лучемъ". Въ каждомъ направленiи исходилъ бы лучъ изъ точки a. Это представленiе вполнѣ пригодно, пока волна распространяется безпрепятственно, но оно приводитъ къ невѣрному выводу, если волна будетъ задержана на пути. При свободномъ распространенiи мы именно очевидно имѣемъ дѣло не съ отдѣльными лучами, а съ цѣлымъ шаровымъ пучкомъ, часть котораго обозначена на рисункѣ по направленiю внизъ; можно было бы пожалуй попытаться выдѣлить изъ этого пучка отдѣльный „лучъ", помѣстивъ тотчасъ за второй волновой поверхностью непрозрачную заслонку съ очень маленькимъ отверстiемъ. Но мы очень ошибемся, если вообразимъ, что въ самомъ дѣлѣ получимъ тогда одинъ лучъ ad. Въ дѣйствительности по ту сторону отверстiя опять распространяется цѣлый свѣтовой пучекъ, какъ будто бы въ самомъ отверстiи былъ скрытъ центръ возбужденiя колебанiй. Такимъ образомъ попытка выдѣлить „одинъ лучъ" не приводитъ къ цѣли и не удалась бы ни при какомъ иномъ повторенiи подобнаго прiема. Отдѣльныхъ лучей вовсе не существуетъ: есть только пучки.



501.

Мы слѣдовательно должны отказаться отъ принятаго выше простого представленiя и принять напротивъ, что каждая изъ точекъ поверхности *1*, въ свою очередь, становится центромъ воз-

бужденія колебаній, изъ котораго во всѣ стороны распространяется новая шаровая волна, какъ это частью изображено на рис. 502. Всѣ эти новыя шаровыя волны, какъ мы видимъ, охватываются или объемлются одной большой сферою, тою именно, которую мы раньше (рис. 501) обозначили цифрою *2*. Итакъ для случая свободнаго распространенія волны это болѣе сложное представленіе приводится къ предыдущему болѣе простому. Но мы тотчасъ же видимъ, что наше теперешнее представленіе приводитъ къ правильному выводу и для случая малаго отверстія, потому именно, что, согласно новому представленію, проникшая въ отверстіе часть волны сама становится центромъ возбужденія новой сферической волны. Въ подробности этого въ высшей степени замѣчательнаго и сложнаго явленія мы здѣсь входить не можемъ. Упомянемъ лишь, что намѣченный выше способъ разсмотрѣнія называется (въ болѣе полномъ видѣ) принципомъ или началомъ Гейгенса[1], и что явленія распространенія и уклоненія лучей при проходѣ чрезъ малыя отверстія и около краевъ предметовъ носятъ названія диффракціонныхъ явленій (диффракція звуковыхъ, свѣтовыхъ, тепловыхъ и иныхъ лучей).—Начало, котораго мы здѣсь коснулись, не остается безъ вліянія въ частности и на ученіе о тѣняхъ (звуковая, свѣтовая, тепловая и т. п. тѣни); извѣстныя построенія тѣневыхъ очертаній (§ 275), основанныя на геометрическомъ понятіи о лучахъ (§ 269), только приблизительно вѣрны и должны быть замѣнены болѣе точными пріемами, вытекающими изъ разсмотрѣнія волнъ съ принятіемъ въ разсчетъ ихъ диффракціи.



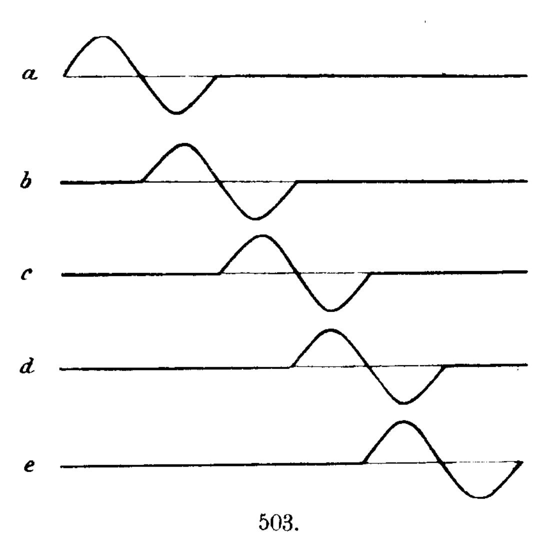
502.

О стоячихъ волнахъ.

641. Разсмотримъ теперь волну, напр. поперечную (можно было бы взять и продольную), нѣсколько ближе и именно сперва въ томъ простомъ случаѣ, когда исходная точка, совершивъ одно полное колебаніе, затѣмъ снова приходитъ въ покой. Въ теченіе этого времени волна успѣетъ распространиться на разстояніе равное длинѣ волны; остальной части линіи колебательное движеніе

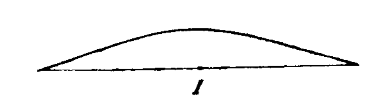
[1] Произносятъ также Гюйгенса.

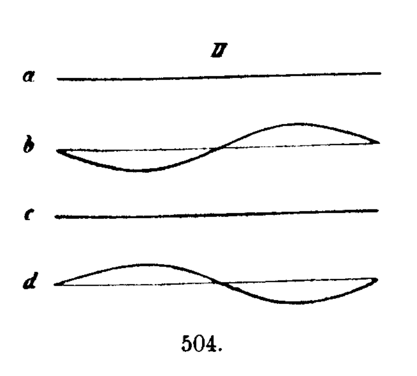
еще не коснулось (рис. 503, *a*). Чрезъ извѣстное время и точки сосѣднія съ начальной приходятъ въ покой, а нѣкоторыя послѣдующія начинаютъ колебаться, такъ что мы имѣемъ состояніе *b*; спустя еще нѣкоторое время мы имѣемъ *c* и т. д. Мы видимъ, что волна движется постепенно впередъ, — что она пробѣгаетъ по всей линіи. Такую волну поэтому называютъ бѣгущей: въ нашемъ случаѣ мы имѣемъ лишь одну волну. Если мы теперь представимъ себѣ, что исходная точка послѣ перваго колебанія не успокаивается, а продолжаетъ колебаться, то мы получимъ рядъ бѣгущихъ волнъ, съ которыми мы обыкновенно и имѣли дѣло выше. Едва ли нужно еще разъ подчеркивать, что названіе „бѣгущей“ относится только къ волнѣ, а не къ частицамъ передающаго ее матерьяла: послѣднія лишь колеблются, оставаясь въ концѣ концовъ на своихъ прежнихъ мѣстахъ.



503.

Совсѣмъ не таково волнообразное движеніе натянутой между двумя неподвижными точками струны, если отвести ее за средину въ сторону и отпустить (рис. 504, I) или же, слегка прикоснувшись пальцемъ посрединѣ, дернуть ее на четверти ея длины (II). Изъ прямолинейной (*a*) она принимаетъ форму *b*, потомъ снова прямолинейную (*c*), затѣмъ *d*, послѣ чего опять возвращается къ прямолинейной формѣ; такъ повторяется дальше и дальше. Волна слѣдовательно не движется впередъ, а остается на мѣстѣ, и поэтому называется стоячею волною. Въ случаѣ бѣгущей волны, для каждой точки наступаетъ моментъ полной амплитуды колебанія; здѣсь же это от-





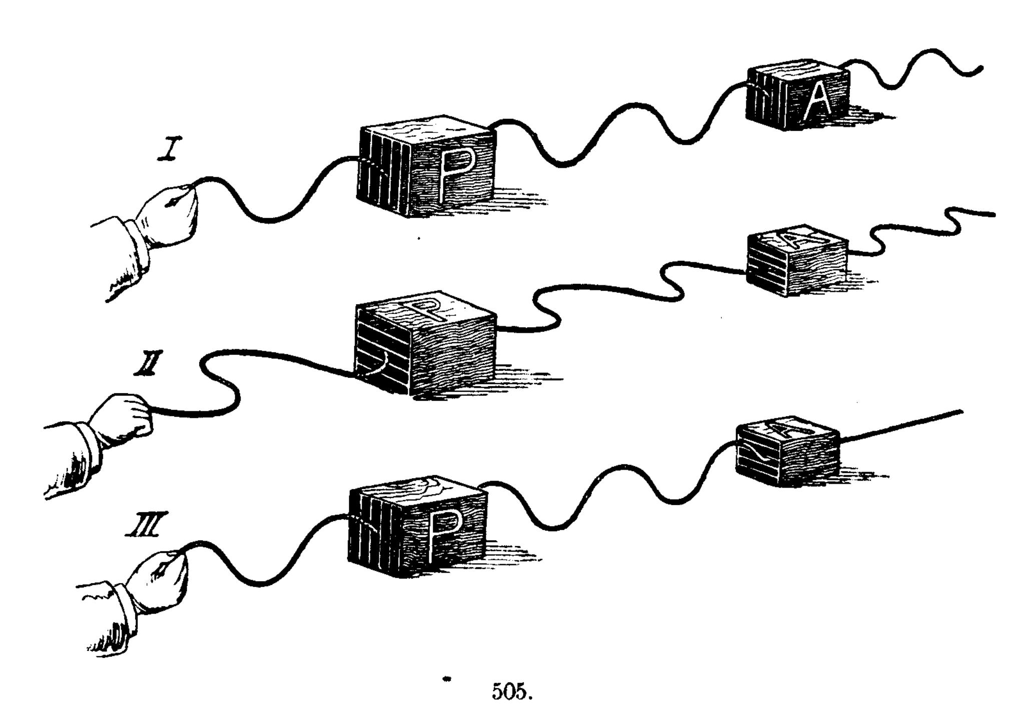
504.

носится лишь до нѣкоторыхъ, напр. въ I случаѣ колеблется съ наибольшей амплитудой лишь одна (средняя) точка, въ II колеблются такъ двѣ точки (на $^1/_4$ и на $^3/_4$ длины струны): остальныя все время совершаютъ меньшіе размахи; извѣстныя точки, въ I—обѣ конечныя, въ II—еще и серединная, совсѣмъ не колеблются, а остаются въ покоѣ. (См. также § 247). Точки съ наибольшей амплитудой колебаній называются пучностями, а тѣ, которыя остаются въ покоѣ, узлами. Эти особенныя точки слѣдовательно свойственны лишь стоячимъ волнамъ. Стоячія волны возникаютъ путемъ интерференціи, обыкновенно—чрезъ интерференцію ряда волнъ съ идущими имъ на встрѣчу отраженными. Тогда, при соблюденіи извѣстныхъ условій, въ однѣхъ точкахъ происходитъ длящееся усиленіе движеній (пучности), въ другихъ ослабленіе (узлы). На вопросъ, какова длина волны, въ случаѣ стоячихъ волнъ отвѣтъ будетъ: это разстояніе между двумя узлами, считая чрезъ одинъ (разстояніе двухъ сосѣднихъ соотвѣтствуетъ полуволнѣ); разстояніе между узломъ и пучностью слѣдов. равняется четверти длины волны.

Со стоячими волнами, какъ и съ бѣгущими, мы встрѣчаемся во всѣхъ областяхъ физики. Водяныя волны бываютъ и бѣгущія, и стоячія. Стоячія волны струны возбуждаютъ въ окружающемъ воздухѣ бѣгущія волны, благодаря которымъ колебательное движеніе достигаетъ нашего уха. Въ резонаторахъ, настроенныхъ на данный тонъ, возникаютъ стоячія волны, подъ дѣйствіемъ извнѣ этого же тона. Нѣчто аналогичное относится и къ свѣту: въ концѣ прошлаго вѣка удалось съ помощью фотографіи обнаружить на опытѣ существованіе стоячихъ свѣтовыхъ волнъ [1].

Почему колебанія въ свѣтовыхъ волнахъ надо считать поперечными.

642. Остается еще рѣшить вопросъ: каково направленіе эфирныхъ колебаній по отношенію къ тому, въ которомъ распространяются самыя волны? Другими словами: имѣемъ ли мы дѣло съ поперечными колебаніями, какъ напр. въ волнахъ, бѣгущихъ по колеблемой веревкѣ (рис. 505, см. также выше рис. 494), или съ продольными, какъ въ случаѣ звуковыхъ волнъ (см. рис. 495 и 497)? Цѣлымъ рядомъ явленій вопросъ рѣшается въ пользу поперечныхъ колебаній. Мы приведемъ изъ нихъ только одно, для пониманія котораго послужитъ слѣдующая грубая модель. Продѣнемъ веревку (или резиновую трубку) сквозь ящикъ P съ вертикальными перегородками (рис. 505 I). Перегородки ограничиваютъ движенія веревки и пропускаютъ сполна только ея колебанія въ вертикальной плоскости: всякія наклонныя проходятъ только частью, преобразовываясь тоже въ вертикальныя, а горизонтальныя совсѣмъ задерживаются. При другомъ положеніи ящика, когда его перегородки горизонтальны, проходятъ сполна только горизонтальныя колебанія (II). Что произойдетъ, если направить колебанія веревки чрезъ другой подобный ящикъ (A)? Это вполнѣ зависитъ отъ относительнаго положенія перегородокъ обоихъ ящиковъ. Если перегородки второго параллельны перегородкамъ перваго (какъ въ I или II), то онъ сполна пропуститъ волны, вышедшія изъ перваго. Если же ящики поставлены такъ, что перегородки ихъ взаимно-перпендикулярны (III), то волны не пропускаются вторымъ ящикомъ.

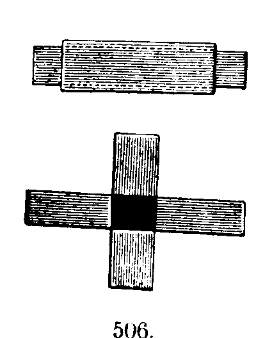


505.

Теперь обратимся къ одному весьма любопытному свѣтовому явленію, которое аналогично только что упомянутому грубому подражанію и которое можно объяснить себѣ не иначе, какъ считая свѣтовыя колебанія поперечными. Возьмемъ двѣ тонкихъ пластинки кристаллическаго цвѣтного минерала, называемаго

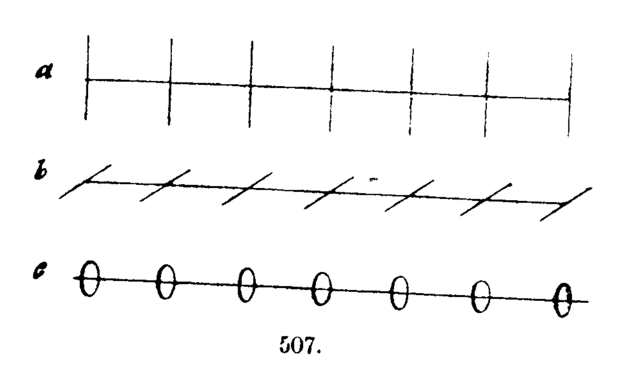
[1] Въ недавнее время число аналогій между распространеніемъ свѣта и звука увеличилось еще однимъ замѣчательнымъ явленіемъ. Найдено, что свѣтовыя волны, подобно звуковымъ, производятъ нѣкоторое давленіе на поверхность, на которую онѣ падаютъ. Величина его настолько мала, что могла быть измѣрена лишь съ большимъ трудомъ. Тѣмъ не менѣе это „лучевое давленіе" вѣроятно играетъ очень важную роль въ нѣкоторыхъ явленіяхъ въ міровомъ пространствѣ, пронизываемомъ волнами безчисленныхъ солнцъ: благодаря ему, мелкія матерьяльныя частички, несомнѣнно отдѣляющіяся отъ свѣтилъ, могутъ переноситься на громаднѣйшія разстоянія.

турмалиномъ: каждая изъ пластинокъ, хотя и не очень прозрачная, пропускаетъ въ отдѣльности довольно много свѣта. Если мы положимъ ихъ параллельно одна на другую (рис. 506, сверху), то двойная пластинка станетъ конечно менѣе прозрачною, что вполнѣ понятно. Но скрестивъ пластинки во взаимно-перпендикулярныхъ направленіяхъ, мы увидимъ, что общая имъ часть совсѣмъ не пропускаетъ свѣта. Внутреннее строеніе турмалина именно таково, что пластинка, отшлифованная изъ кристалла опредѣленнымъ образомъ, сообщаетъ прошедшимъ сквозь нее свѣтовымъ волнамъ колебанія параллельныя ея длинному ребру и неспособна пропускать сквозь себя колебанія, совершающіяся въ плоскости перпендикулярной къ ея длинѣ. Задерживаніе волнъ въ послѣднемъ случаѣ было бы необъяснимо при продольныхъ колебаніяхъ. И въ самомъ дѣлѣ, ничего подобнаго не извѣстно напр. для звуковыхъ волнъ.



506.

643. По отношенію къ направленію колебаній необходимо еще замѣтить слѣдующее. Для данной линіи продольныя колебанія могутъ имѣть только одно направленіе, именно направленіе самой линіи, между тѣмъ какъ направленія поперечныхъ



507.

колебаній могутъ быть безконечно разнообразны: сюда подошло бы любое изъ направленій перпендикулярныхъ къ линіи. Точки горизонтальной прямой (рис. 507) могутъ напр. колебаться сверху внизъ (*a*) или спереди назадъ (*b*, въ перспективномъ изображеніи) или въ какомъ нибудь иномъ промежуточномъ направленіи. Болѣе того: между тѣмъ какъ продольныя колебанія всегда прямолинейны, поперечныя могутъ быть круговыми (*c*) или эллиптическими и т. д. Это различіе ведетъ къ несравненно большему разнообразію поперечныхъ колебаній по сравненію съ продольными и имѣетъ послѣдствіемъ такія явленія въ случаѣ первыхъ,

которыя отсутствуютъ при продольныхъ колебаніяхъ,—какъ видно было изъ разсмотрѣннаго въ пред. § примѣра. Поперечныя колебанія, имѣющія нѣкоторое совершенно опредѣленное направленіе, называются поляризованными. Звуковыя волны продольны—этимъ все сказано; свѣтовыя же волны поперечны, слѣдов. онѣ или поляризованы въ опредѣленномъ направленіи, или же неполяризованы, т. е. различныя частички эфира, находящіяся между источникомъ свѣта и нашимъ глазомъ, колеблются во всевозможныхъ направленіяхъ, которыя перпендикулярны къ прямой, соединяющей глазъ со свѣтовымъ источникомъ; такія колебанія надо принять для большинства источниковъ свѣта, и самый свѣтъ, въ отличіе отъ „поляризованнаго", называется тогда неполяризованнымъ или „естественнымъ". Слѣдовательно существуетъ только одинъ родъ звуковъ, но много родовъ свѣта: естественный свѣтъ, прямолинейно поляризованный, поляризованный по кругу, эллиптически поляризованный и т. д. Можно идти еще дальше и представить себѣ колебанія, направленіе которыхъ не совпадало бы съ направленіемъ ряда захватываемыхъ волною точекъ и не было бы къ нему перпендикулярно; но такія колебанія не представляютъ для насъ интереса.

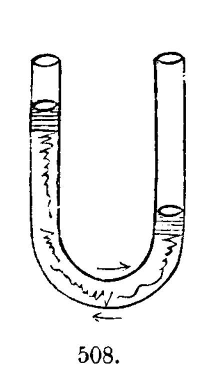
Обратимся теперь къ тѣмъ эфирнымъ волнамъ, открытіе которыхъ еще гораздо далѣе раздвинуло границы извѣстнаго въ этой заманчивой области,—къ волнамъ, возбуждаемымъ въ эфирѣ электрическими разрядами.

„Электромагнитныя волны" и „электрическіе лучи".

644. Кто въ настоящее время не слышалъ о „безпроволочномъ телеграфѣ" и не удивлялся этому новѣйшему плоду человѣческой изобрѣтательности? Длинный рядъ научныхъ изслѣдованій, обнимающихъ промежутокъ времени около полустолѣтія, предшествовалъ моменту, когда явилась возможность передавать слова чрезъ пространство въ сотни и тысячи верстъ безъ посредства промежуточныхъ проволокъ, тѣхъ телеграфныхъ проволокъ, которымъ мы, отдавая дань привычкѣ, уже давно перестали удивляться. Почвою для этого изобрѣтенія послужила утвердившаяся въ наукѣ мысль, что въ міровомъ эфирѣ, служащемъ передатчикомъ свѣтовыхъ и тепловыхъ „лучей", могутъ волнообразно распространяться и колебанія, вызываемыя въ немъ электрическими разрядами. Мы можемъ сказать здѣсь лишь очень немногое о происхожденіи и распространеніи этихъ электромагнитныхъ волнъ.

Разрядъ лейденской банки и индукціонной спирали—явленіе въ дѣйствительности гораздо болѣе сложное, чѣмъ оно представляется при первомъ наблюденіи. Оказалось, что вы-

равниваніе электрической разности надо представлять себѣ происходящимъ не въ одинъ пріемъ, а какъ послѣдовательный рядъ переходовъ электричества впередъ и обратно, съ одного проводника на другой,—какъ рядъ слѣдующихъ другъ за другомъ быстро ослабѣвающихъ разрядовъ или токовъ противоположныхъ направленій. Такимъ образомъ все явленіе разряда имѣетъ колебательный характеръ; оно напоминаетъ собою какъ бы постепенную остановку маятника, отведеннаго въ сторону и затѣмъ предоставленнаго самому себѣ; сходнымъ образомъ, путемъ ряда все ослабѣвающихъ колебаній въ обѣ стороны, успокаивается жидкость въ двухъ сообщающихся трубкахъ (рис. 508), если уровень ея былъ въ одной выше, чѣмъ въ другой. „Электрическія колебанія“ вызываютъ соотвѣтствующія движенія въ эфирѣ, которыя передаются въ немъ волнообразно со скоростью свѣта, т. е. на разстояніе 300000 километровъ въ секунду.



508.

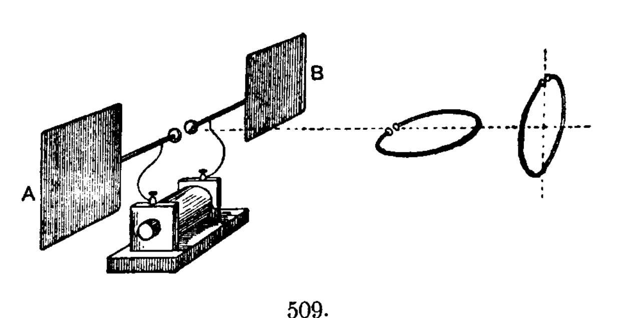
Отъ эфирныхъ волнъ, производящихъ въ насъ свѣтовое впечатлѣніе, электромагнитныя волны, порождаемыя электрическими разрядами, отличаются только тѣмъ, что соотвѣтствующія имъ колебанія, хотя и чрезвычайно быстрыя, совершаются все же значительно медленнѣе.[1] Распространеніе электромагнитныхъ волнъ образуетъ то, что нерѣдко называютъ электрическими лучами. Доказано, что въ отношеніи способности отражаться, переломляться, поглощаться тѣлами и пр. эти лучи не отличаются чѣмъ либо существеннымъ отъ тѣхъ, съ которыми мы уже знакомы изъ предыдущаго; всѣ наблюдаемыя различія связаны только съ различіемъ въ повторяемости эфирныхъ колебаній (числѣ ихъ въ секунду).

Поглощеніе электрическихъ волнъ проводниками вызываетъ соотвѣтствующія колебательныя движенія и въ ихъ эфирѣ, слѣдствіемъ чего въ этихъ проводникахъ являются электрическіе токи или электрическіе разряды; послѣдніе при извѣстныхъ условіяхъ могутъ стать достаточно сильными, чтобы проявиться напр. электрическими искрами въ перерывахъ частей проводника или же другими видимыми электрическими дѣйствіями. Въ этомъ отношеніи наблюдается нѣчто очень сходное со звуковою отзывчивостью или резонансомъ (гл. XV, §§ 250—254). Измѣняя размѣры и форму проводника, можно достичь того, что онъ будетъ электрически „отзываться“ на электрическія колебанія той или иной повторяемости. Такіе „электрическіе резонаторы“ и могутъ служить для обнаруженія электрическихъ волнъ, замѣняя собою ухо по отношенію къ звуковымъ волнамъ и глазъ—по отношенію къ свѣтовымъ.

[1] Электромагнитныя волны называютъ и просто электрическими; но первое выраженіе предпочтительнѣе, потому что оно напоминаетъ и о магнитныхъ дѣйствіяхъ, неразрывно связанныхъ съ электрическими разрядами.

Отсюда уже не далеко до попытокъ устроить приспособленія, которыя отмѣчали бы попадающія на нихъ электрическія волны какими либо остающимися условными знаками. Такова именно сущность безпроводнаго телеграфированія, о практической сторонѣ котораго будетъ сказано нѣсколько дальше.

645. На рис. 509 изображенъ въ простѣйшемъ видѣ приборъ, служащій для возбужденія волнъ и (справа) для ихъ обнаруженія. Электрическіе токи Румкорфовой спирали направляются въ приспособленіе AB, называемое вибраторомъ (т. е. „колебателемъ“). Какъ видно изъ рисунка, вибраторъ состоитъ изъ двухъ квадратныхъ металлическихъ пластинокъ A и B, прикрѣпленныхъ къ двумъ металлическимъ стержнямъ, которые оканчиваются тщательно отполированными металлическими шариками; въ промежуткѣ между ними и проскакиваетъ искра. Каждая такая искра состоитъ въ дѣйствительности изъ цѣлаго ряда колебаній. Но колебанія эти быстро ослабѣваютъ (затухаютъ) до полнаго исчезновенія, такъ что весь рядъ ихъ является для нашего глаза одной моментальной искрой. Положимъ, что произошло подъ-рядъ двадцать колебаній, и что каждое изъ нихъ длится одну стомилліонную долю секунды, тогда весь рядъ колебаній займетъ всего лишь одну пятимилліонную секунды.—Повторяемость колебаній, т. е. число ихъ, которое пришлось бы на цѣлую секунду, зависитъ отъ формы и размѣровъ вибратора: измѣняя то и другое, можно въ извѣстныхъ границахъ измѣнять повторяемость, которая въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ можетъ быть найдена вычисленіемъ.

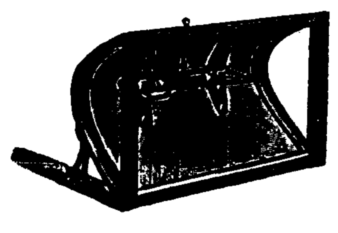
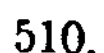


509.

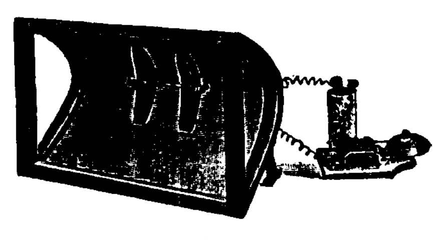
Чтобы обнаружить невидимыя волны, посылаемыя вибраторомъ въ окружающее пространство, можно воспользоваться индукціоннымъ дѣйствіемъ. Изъ § 598 мы знаемъ, что электрическій разрядъ (напр. лейденской банки) чрезъ проволоку возбуждаетъ кратковременный электрическій токъ въ другой, сосѣдней съ первою, и что индукціонный токъ обнаруживается искрою

между концами вторичнаго проводника. Для нашей настоящей цѣли можно взять свернутую въ кольцо металлическую проволоку, оканчивающуюся двумя очень близко отстоящими другъ отъ друга шариками (см. рис. 509 справа). Если держать кольцо на нѣкоторомъ разстояніи отъ вибратора, приведеннаго въ дѣйствіе, то въ моменты разрядовъ можно замѣтить искорки въ промежуткѣ между шариками кольца. Эти искорки будутъ сильнѣе или слабѣе, смотря по обстоятельствамъ; при несоблюденіи извѣстныхъ условій онѣ могутъ и совсѣмъ не появиться. Во-первыхъ, кольцо надо держать въ такомъ положеніи, чтобы исходящія отъ вибратора колебанія могли возбуждать въ немъ токи: опытъ именно показываетъ, что это происходитъ не при всякомъ положеніи кольца, — конечно въ зависимости отъ направленія колебаній въ вибраторѣ (которыя въ нашемъ случаѣ происходятъ горизонтально). Наиболѣе выгодныя положенія кольца представлены на рисункѣ. — Во-вторыхъ, большое значеніе имѣютъ размѣры кольца. Дѣло въ томъ, что разряды въ кольцѣ тоже имѣютъ колебательный характеръ, и размѣрами кольца опредѣляется періодъ тѣхъ электрическихъ колебаній, которыя произошли бы въ немъ самомъ, еслибы напр. его заряжать отъ Румкорфовой спирали (подобно тому, какъ заряжается самый вибраторъ). Если величину кольца выбрать такъ, чтобы періодъ его собственныхъ электрическихъ колебаній совпадалъ съ періодомъ волнъ, посылаемыхъ вибраторомъ, то возбуждаемыя въ кольцѣ эл. колебанія усиливаются, и можно получить въ его перерывѣ болѣе замѣтную искру. Мы видимъ, что кольцо играетъ тогда роль настоящаго резонатора, отзывающагося на колебанія той именно повторяемости, какія свойственны ему самому.

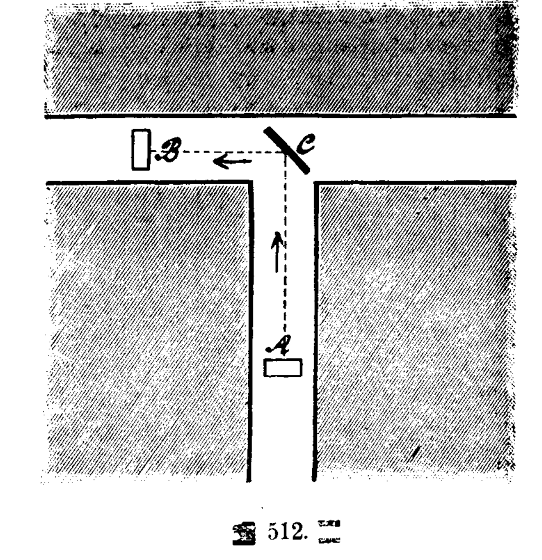
646. Какъ вибраторъ, такъ и резонаторъ или „пріемникъ“ описаны здѣсь въ ихъ первоначальной формѣ. Въ настоящее время имъ дается довольно разнообразное устройство. Кромѣ того, чтобы имѣть возможность направлять по желанію ходъ электрическихъ волнъ, вибраторъ помѣщаютъ въ фокусной линіи металлическаго вогнутаго зеркала, отъ котораго онѣ, отразившись, идутъ по приблизительно параллельнымъ направленіямъ—подобно свѣтовому пучку въ соотвѣтствующемъ случаѣ; какъ и тамъ, зеркалу придается параболическая форма (см. § 293). Такое зеркало изображено на рис. 510. Улавливаются же волны помощью другого параболическаго зеркала, въ фокусной линіи котораго помѣщенъ пріемникъ; возбуждаемые въ послѣднемъ электрическіе токи могутъ быть обнаруживаемы или гальваноскопомъ, или помощью приспособленія, приводящаго въ дѣйствіе электрическій звонокъ (какъ именно представлена на рис. 511, справа). Послѣ этихъ краткихъ свѣдѣній объ устройствѣ приборовъ опишемъ нѣсколько опытовъ.

510.

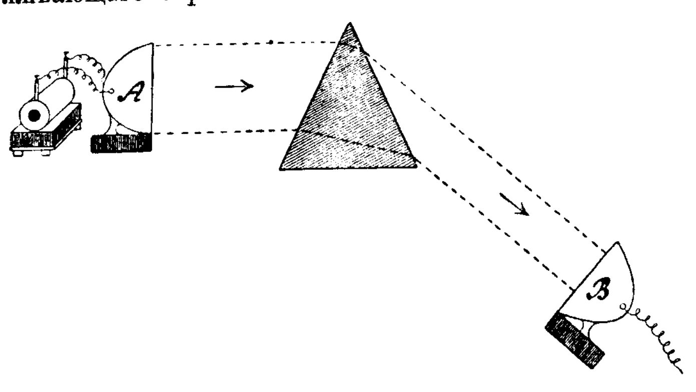


511.



512.

647. Что электрическія волны могутъ отражаться, и что онѣ отражаются по тѣмъ же законамъ, какъ и свѣтъ—видно изъ способа примѣненія къ нимъ вогнутыхъ металлическихъ зеркалъ, о которомъ только что упомянуто. Рис. 512 показываетъ расположеніе опыта, весьма наглядно обнаруживающаго отраженіе волнъ отъ плоскаго металлическаго экрана (*C*). Въ *A* предполагается вибраторъ, въ *B*—пріемникъ, который даетъ знать о падающихъ на него электрическихъ волнахъ напр. помощью электрическаго звонка; стóитъ лишь убрать экранъ *C*, и пріемникъ перестаетъ отзываться на колебанія вибратора.



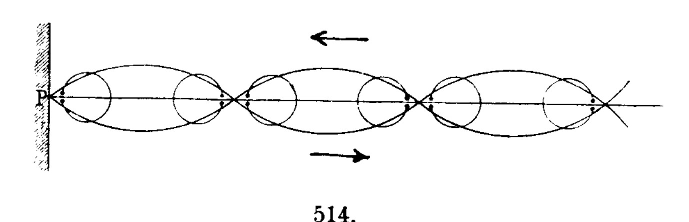
513.

Преломленіе „электрическихъ лучей“ хорошо наблюдается помощью трехгранной призмы изъ смолы или парафина, какъ легко понять изъ рис. 513 безъ дальнѣйшихъ объясненій.

Подобно „свѣтовымъ“, электрическіе лучи болѣе или менѣе свободно проникаютъ чрезъ одни тѣла и задерживаются другими. Они напр. хорошо проходятъ сквозь деревянную дверь или каменную стѣну; напротивъ, металлическій экранъ почти сполна задерживаетъ ихъ ходъ, частью отражая, частью поглощая, такъ что позади экрана образуется какъ бы „тѣневое“ пространство.

Длина электромагнитныхъ волнъ.

648. Мы уже знакомы изъ §§ 636—639 съ явленіемъ, которое называется интерференціей волнъ и которое служитъ пожалуй самымъ убѣдительнымъ признакомъ того, что нѣкоторое данное движеніе имѣетъ періодическій или волнообразный характеръ. Явленіе интерференціи наблюдается и для электрическихъ волнъ. Такъ чрезъ взаимное наложеніе ряда волнъ съ идущими обратно отраженными удается получить стоячія (§ 641) электрическія волны. Для этого поступаютъ напр. слѣдующимъ образомъ. Противъ вибратора помѣщаютъ на достаточномъ разстояніи металлическій экранъ такъ, чтобы волны падали на него перпендикулярно: отразившись, онѣ пойдутъ прямо противъ направленія падающихъ волнъ, и при



514.

надлежащихъ условіяхъ въ промежуткѣ между вибраторомъ и экраномъ образуются стоячія волны. Въ самомъ дѣлѣ, изслѣдуя этотъ промежутокъ съ помощью пріемника, находятъ, что въ извѣстныхъ точкахъ онъ совсѣмъ не отзывается на колебанія вибратора, въ другихъ, напротивъ, отзывается сильнѣе всего, и что эти точки слѣдуютъ другъ за другомъ, правильно чередуясь. Первыя конечно соотвѣтствуютъ узламъ, гдѣ колебаній нѣтъ, вторыя — пучностямъ, гдѣ колебанія наиболѣе сильны. На рис. 514 это изображено наглядно: P—отражающій металлическій экранъ; противъ него (за правой стороной рисунка) помѣщенъ вибраторъ, искровой промежутокъ котораго здѣсь предполагается вертикальнымъ; пріемникъ представленъ въ видѣ описаннаго выше проволочнаго кольца—въ разныхъ мѣстахъ изслѣдуемаго промежутка. Изображенныя на рисункѣ стоячія волны очевидно очень напоминаютъ собою тѣ, которые легко получаются на резиновой трубкѣ или веревкѣ, привязанныхъ за одинъ конецъ и приводимыхъ въ колебаніе надлежащей быстроты съ другого.

Этого рода наблюденія даютъ намъ и нѣчто большее. Они позволяютъ довольно просто измѣрить длину электрическихъ волнъ, возникающихъ при описанныхъ только что условіяхъ. Такъ какъ разстояніе между узлами равняется половинѣ длины волны, то стóитъ лишь удвоить разстояніе отъ одного узла до другого, чтобы получилась длина волны. А отсюда, зная число колебаній въ секунду, — которое, какъ сказано было выше, вычисляется на основаніи формы и размѣровъ вибратора,—можно заключить и о скорости распространенія электрическихъ волнъ. Положимъ напр., что число колебаній равно ста милліонамъ въ сек.; тогда разстояніе между узлами оказалось бы около $1^1/_2$ метровъ, слѣдов. длина волны была бы около 3 м. На протяженіи, которое волны пробѣгаютъ въ 1 сек., должно умѣститься сто милліоновъ такихъ волнъ. Отсюда скорость распространенія выходитъ около 300 милліоновъ метровъ или 300000 километровъ въ секунду— какъ и для свѣта. Многочисленныя опредѣленія, сдѣланныя разными способами, не оставляютъ сомнѣнія, что скорость распространенія электрическихъ волнъ въ „свободномъ эфирѣ“—та же, что и волнъ, производящихъ впечатлѣніе на нашъ глазъ.

Разъ опредѣлена скорость распространенія (которая въ воздухѣ мало отличается отъ скорости въ „пустотѣ“), легко уже находить длину волнъ въ разныхъ случаяхъ, если извѣстно число колебаній въ сек. Напр. динамомашины перемѣннаго тока, обыкновенно употребляемыя для электрическаго освѣщенія, посылаютъ въ провода токи, которыхъ направленіе мѣняется около 100 разъ въ секунду, чтó слѣдовательно соотвѣтствуетъ 100 одиночнымъ колебаніямъ, т. е. 50 полнымъ колебаніямъ или періодамъ. Раздѣливъ 300000 км. на 50, найдемъ 6000 км.; такова длина электрическихъ волнъ, расходящихся въ пространство отъ провода, по которому проходятъ обычные электроосвѣтительные токи.— Волны, посылаемыя аппаратами искровой или безпроволочной телеграфіи, обыкновенно имѣютъ длину въ нѣсколько сотъ метровъ.—Самыя же короткія донынѣ полученныя электрическія волны измѣряются длиною около 3 мм. Слѣдовательно соотвѣтствующее имъ число колебаній въ сек. найдется, если раздѣлить $300000 \times 1000 \times 1000$ или 300 милліардовъ на 3: это составитъ 100 милліардовъ въ секунду.

649. Теперь—нѣсколько словъ о направленіи колебаній по отношенію къ направленію луча. Нѣкоторыя явленія, какъ мы видѣли въ § 642, заставляютъ считать колебанія въ „свѣтовыхъ“ лучахъ поперечными. Здѣсь, въ случаѣ электромагнитныхъ

волнъ, самымъ способомъ ихъ возникновенія почти съ очевидностью рѣшается вопросъ о направленіи колебаній. Электромагнитныя колебанія испускаются вибраторомъ поляризованными подобно тѣмъ, которыя мы въ грубомъ видѣ наблюдаемъ на веревкѣ, когда рукою сообщаемъ ея концу колебанія напр. вверхъ и внизъ (см. выше рис. 505). Для электрическихъ волнъ извѣстенъ рядъ явленій, которыхъ и можно было ожидать, имѣя дѣло съ поперечными колебаніями, явленій, аналогичныхъ упомянутымъ выше для поляризованнаго свѣта (§ 643); но мы о нихъ распространяться не станемъ.

Шкала эфирныхъ волнъ.

650. Сдѣлаемъ теперь общій обзоръ извѣстныхъ нынѣ эфирныхъ волнъ. Ихъ можно характеризовать или числомъ колебаній въ секунду, какъ это мы большею частью дѣлали раньше, или—и это болѣе принято въ физикѣ—ихъ длиною. Не забудемъ, что произведеніе длины волны на число колебаній въ сек. равняется пути, пробѣгаемому волнами въ теченіе секунды: если изъ этихъ чиселъ извѣстны два, то тотчасъ же опредѣляется и третье. Чтобы весь рядъ волнъ представить нагляднѣе, мы прибѣгнемъ къ тому способу, который употребляется въ музыкѣ,—расположимъ колебанія въ рядъ октавъ. Какъ извѣстно, октавою какого-либо тона называется тонъ, повторяемость колебаній котораго (число колебаній въ сек.) вдвое больше, чѣмъ даннаго тона. Второй октавѣ будетъ соотвѣтствовать повторяемость въ 4 раза бо́льшая, третьей — въ 8 разъ и т. д.; десятой октавѣ будетъ соотвѣтствовать число $2^{10} = 1024$. Принявъ вмѣсто этого круглымъ счетомъ 1000, мы найдемъ, что 11-й октавѣ будетъ отвѣчать число 2000, двѣнадцатой — 4000 и т. д.; 20-я октава (опять округленно) изобразится числомъ 1000×1000 или 1 милліономъ; 30-я октава будетъ соотвѣтствовать 1 милліарду. Выпишемъ этотъ рядъ такъ:

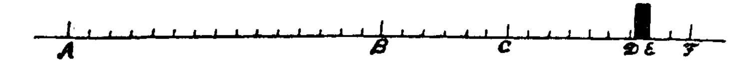
Октавы	I	II	III...	X	XI	XII...	XX	XXX
	2,	4,	8,...	1000;	2000,	4000,...	1000000;	1 милліардъ.

Доступныя намъ „звуковыя“ колебанія, т. е. колебанія частей обыкновенной матеріи,—если принять за низшую границу слуховыхъ воспріятій приблизительно 20 колебаній въ секунду, а за высшую 40000, — составляютъ около 11 октавъ, потому именно, что $40000 = 20 \times 2000$.

Изъ эфирныхъ волнъ нашъ глазъ воспринимаетъ, какъ „свѣтъ“, только тѣ, которымъ соотвѣтствуютъ колебанія примѣрно отъ 400 до 750 билліоновъ въ секунду, — слѣдовательно въ предѣлахъ около одной октавы. Но взглянемъ на весь рядъ нынѣ извѣстныхъ эфирныхъ волнъ. Самыя короткія изъ нихъ, соотвѣтствующія крайнимъ ультрафіолетовымъ лучамъ, имѣютъ

длину около 0,0001 миллиметра [1]. Сравнивая ихъ съ электрическими волнами напр. въ 100 метровъ длины, мы видимъ, что первыя въ милліардъ разъ короче послѣднихъ; во столько разъ слѣдовательно повторяемость самыхъ короткихъ эфирныхъ волнъ больше, чѣмъ 100-метровыхъ,—промежутокъ, отвѣчающій цѣлымъ 30 октавамъ. И изъ этого ряда нашему глазу доступны волны въ предѣлахъ лишь около одной октавы! Если же взять въ разсчетъ, что можно получать и гораздо болѣе медленныя колебанія, чѣмъ тѣ, которымъ соотвѣтствуютъ волны длиною въ 100 м., то на эфирныя волны, являющіяся намъ „свѣтомъ“, придется еще гораздо меньшая доля всѣхъ извѣстныхъ эфирныхъ волнъ...

Нанесемъ вдоль прямой линіи, слѣва направо (рис. 515), рядъ поперечныхъ равноотстоящихъ черточекъ, и пусть промежутокъ между ними будетъ отвѣчать одной октавѣ: каждая черточка слѣдовательно будетъ соотвѣтствовать колебанію въ два раза



515.

болѣе быстрому, чѣмъ предыдущая. На нашей прямой нанесено именно 30 упомянутыхъ выше октавъ. Часть AB, около 15 октавъ, изображаетъ собою область волнъ, полученныхъ электрическимъ путемъ; часть CD, около 6 октавъ, соотвѣтствуетъ невидимымъ инфракраснымъ лучамъ спектра; заштрихованный промежутокъ DE, около 1 октавы,—видимымъ лучамъ, а послѣдній, около 2 октавъ,—невидимымъ ультрафіолетовымъ. Что же касается промежутка BC (около 6 октавъ), то онъ пока составляетъ пробѣлъ—область колебаній, до сихъ поръ еще невѣдомую, и конечно понадобится еще не мало изобрѣтательности и настойчивости со стороны изслѣдователей, чтобы заполнить этотъ неизвѣданный сравнительно небольшой промежутокъ.

О безпроводной или „искровой“ телеграфіи.

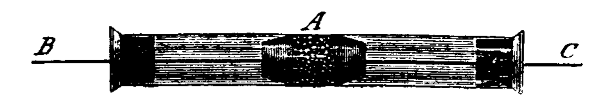
651. Намъ остается сказать кое-что о примѣняемыхъ на практикѣ способахъ улавливать и отмѣчать видимыми знаками тѣ электромагнитныя волны, которыя возбуждаются въ эфирной средѣ электрическими разрядами.

Энергія этихъ разрядовъ слишкомъ ничтожна, чтобы привести въ движеніе какіе-нибудь отмѣчающіе или записывающіе меха-

[1] На толщину волоса съ головы человѣка уложилось бы около тысячи такихъ волнъ.

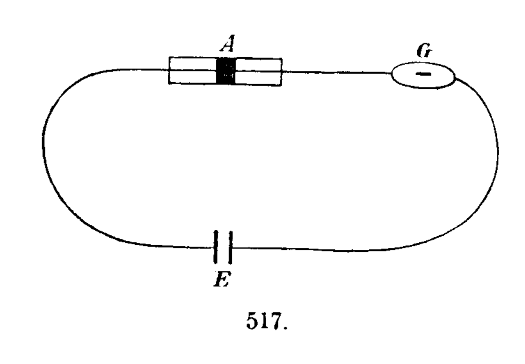
низмы въ большомъ разстояніи отъ источника. На практическую почву дѣло было поставлено слѣдующимъ любопытнымъ открытіемъ.

Представимъ себѣ стеклянную трубочку (рис. 516), въ которую положена кучка металлическихъ опилокъ (A) и вставлены двѣ соприкасающіяся съ ними проволоки B и C. Если концы



516.

послѣднихъ сообщить съ полюсами гальваническаго элемента, то проходящій по цѣпи токъ будетъ очень слабъ, потому что опилки, едва соприкасающіяся между собою, представляютъ току очень большое сопротивленіе. Оказалось, что сопротивленіе кучки опилокъ сильно уменьшается, какъ только на нее упадутъ электромагнитныя волны; слѣдовательно тогда токъ въ цѣпи значительно усилится [1]. Усиленіе тока можетъ быть напр. замѣчено, если въ цѣпь изъ элемента (E) и описанной только что трубочки (A) ввести гальваноскопъ G (рис. 517).— Послѣ того, какъ дѣйствіе электромагнитныхъ волнъ прекратилось, сопротивленіе металлическаго порошка сохраняетъ свою малую величину, и слѣдов. дальнѣйшія волны уже не могли бы быть имъ отмѣчены. Но простое встряхиваніе порошка, какъ оказывается, возвращаетъ ему прежнее большое сопротивленіе. Для встряхиванія можетъ служить ударникъ электрическаго звонка, включеннаго въ ту же цѣпь.



517.

652. Электромагнитныя волны на станціи подачи возбуждаются мощными электрическими разрядами, дѣйствіе которыхъ еще усиливается нѣкоторыми добавочными приспособленіями. На пріемной станціи отмѣтка ихъ видимыми знаками производится напр. съ помощью описаннаго выше приборчика слѣдующимъ образомъ. Приборчикъ включается въ цѣпь изъ гальваническаго элемента и электромагнитнаго релэ (см. выше § 621). Какъ только, вслѣдствіе паденія электромагнитныхъ волнъ на опилки, токъ въ цѣпи усилится, электромагнитъ релэ притягиваетъ якорь и замыкаетъ токъ мѣстной батареи, приводящей въ дѣйствіе телеграфный аппаратъ Морза. Кратковременный рядъ быстро слѣдующихъ одна за другою волнъ производитъ на тесьмѣ отмѣтку, соотвѣтствующую „точкѣ" телеграфной азбуки, а болѣе длительный—„черточкѣ".

[1] Что касается причины чрезвычайнаго уменьшенія сопротивленія кучки (которое можетъ упасть съ сотенъ тысячъ до нѣсколькихъ омовъ), то ее нельзя считать достаточно выясненною. Быть можетъ соприкосновеніе опилокъ дѣлается болѣе тѣснымъ отчасти вслѣдствіе образованія между ними мельчайшихъ искорокъ, которыя спаиваютъ металлическія частички между собою.

Такова сущность безпроволочнаго телеграфированія, которое—надо замѣтить—находится еще въ процессѣ развитія и усовершенствованія; самое улавливаніе волнъ производится нынѣ и другими способами, кромѣ здѣсь описаннаго, впервые примѣненнаго на небольшомъ разстояніи въ 1895 году [1]. Что касается достигнутыхъ уже результатовъ, то они не могутъ не поражать нашего воображенія. Передача депешъ чрезъ морскія пространства на разстоянія болѣе тысячи верстъ уже не представляетъ рѣдкости; удалось сноситься даже чрезъ Атлантическій океанъ между Европой и С. Америкой. Въ настоящее время нетолько многія суда такимъ образомъ сообщаются между собою и съ берегомъ на небольшихъ разстояніяхъ (что конечно очень важно въ опасную для плаванія туманную погоду), но уже достигнута возможность правильной доставки извѣстій съ материковъ океанскимъ пароходамъ на всемъ протяженіи ихъ пути между Европой и Америкой... Таковы успѣхи безпроволочной телеграфіи за короткое время послѣ первой удавшейся попытки.

Изъ предыдущаго ясно, что изученіе электромагнитныхъ волнъ въ обстановкѣ физическихъ лабораторій, съ чисто научною цѣлью, доставило все существенное, на чемъ основано нынѣ безпроводное телеграфированіе. Мы кромѣ того видимъ, что сигнализація съ помощью электрическихъ волнъ гораздо ближе къ столь обычнымъ свѣтовымъ или оптическимъ сигналамъ, чѣмъ сперва можно было бы подумать,—что дѣло сводится только къ различію въ длинѣ волны. Наша давняя привычка сноситься другъ съ другомъ при посредствѣ „свѣтовыхъ" волнъ сдѣлала это чѣмъ то вполнѣ обыкновеннымъ, даже какъ будто понятнымъ; между тѣмъ въ научномъ смыслѣ распространеніе короткихъ (свѣтовыхъ) волнъ представляетъ собою задачу подобнаго же рода, какъ гораздо болѣе длинныхъ, получаемыхъ съ помощью электрическихъ аппаратовъ.

[1] А. С. Поповымъ въ Петербургѣ—вскорѣ послѣ того, какъ было открыто указанное выше отношеніе металлическихъ порошковъ къ электромагнитнымъ волнамъ.

Нѣсколько заключительныхъ замѣчаній.

653. Ученіе объ электромагнитныхъ волнахъ связано главнымъ образомъ съ именами трехъ великихъ физиковъ: Ф а р а д э я, М а к с в е л л а и Г е р ц а. Первый подготовилъ почву для изслѣдованій, указавъ на важную роль с р е д ы въ передачѣ электрическихъ дѣйствій; его геній уже предчувствовалъ тѣсное соотношеніе между свѣтомъ, магнитизмомъ и электричествомъ, и лишь глубокая старость положила предѣлъ его настойчивымъ поискамъ въ этомъ направленіи. Второй, ученикъ Фарадэя, тоже англичанинъ, создалъ замѣчательную математическую теорію, объединившую ученіе о свѣтѣ и электромагнитизмѣ подъ именемъ э л е к т р о м а г н и т н о й т е о р і и с в ѣ т а, и предсказалъ существованіе эфирныхъ волнъ гораздо болѣе длинныхъ, чѣмъ свѣтовыя, которыя однако должны были распространяться съ тою же скоростью, какъ свѣтъ. Наконецъ германскій физикъ Герцъ, рядомъ мастерски задуманныхъ опытовъ, обнаружилъ существованіе электромагнитныхъ волнъ въ дѣйствительности, изучилъ ихъ основныя свойства и опредѣлилъ экспериментальнымъ путемъ скорость ихъ распространенія. Вотъ нѣсколько любопытныхъ мыслей изъ заключительныхъ словъ его рѣчи, произнесенной на 62-мъ Съѣздѣ германскихъ естествоиспытателей и врачей въ Гейдельбергѣ (1889), гдѣ Герцъ сообщаетъ о результатахъ своихъ первыхъ работъ [1].

„Связь между свѣтомъ и электричествомъ, которую теорія предполагала и предвидѣла, теперь обнаружена. Съ возвышенной точки, которой мы достигли, намъ открывается широкій кругозоръ на обѣ области. Онѣ являются намъ болѣе обширными, чѣмъ мы знали ихъ до сихъ поръ. Господство оптики уже не ограничивается эфирными волнами въ малую долю миллиметра: оно охватываетъ и такія, длина которыхъ измѣряется дециметрами, метрами, километрами. И тѣмъ не менѣе оптика, разсматриваемая съ нашей новой точки зрѣнія, является лишь малымъ придаткомъ къ области электричества. Эта послѣдняя выигрываетъ всего болѣе. Мы теперь находимъ электричество во множествѣ мѣстъ, въ которыхъ до сихъ поръ о его существованіи не имѣли достовѣрныхъ свѣдѣній. Мы видимъ электрическій процессъ въ каждомъ пламени, въ каждомъ свѣтящемъ атомѣ. Хотя бы даже тѣло не свѣтило, если только оно испускаетъ тепловые лучи, оно—источникъ электрическаго возбужденія. Область электричества распространяется такимъ образомъ на всю природу. Мы узнаёмъ даже, что въ дѣйствительности обладаемъ электрическимъ органомъ, глазомъ. Съ другой стороны, не далекъ вопросъ и о сущности электричества. А непосредственно къ послѣднему примыкаетъ уже громадный вопросъ о природѣ и свойствахъ міровой среды, эфира, о его строеніи, покоѣ и движеніи, его безграничности или конечности. Все болѣе начинаетъ казаться, будто э т о т ъ именно вопросъ высится надъ всѣми остальными, будто природа эфира раскроетъ намъ тайну и самой матеріи. Сущность древнихъ физическихъ построеній дошла до насъ въ словахъ, что все создалось изъ воды, изъ огня. Физика нашего времени уже недалека отъ вопроса: не произошло-ли все, чтó есть, изъ эфира?“

[1] См. переведенную мною брошюру Герца „Объ отношеніи между свѣтомъ и электричествомъ“. Изд. Риккера. Пб. 1890.

Эти слова одного изъ первоклассныхъ натуралистовъ очень недавняго времени хорошо характеризуютъ собою преобладающее теченіе въ верхахъ современной физики. Но уноситься воображеніемъ въ столь гадательную область и работать въ ней съ успѣхомъ—удѣлъ лишь немногихъ избранниковъ, отмѣченныхъ печатью геніальности.

XXXVI.

О способахъ физическаго изученія природы и отношеніи физики къ нашему обыденному знанію.

Опытъ, какъ активное наблюденіе.

654. Въ заключеніе не безполезно будетъ оглянуться на пройденный нами довольно длинный путь и подвести нѣкоторые итоги.

Основою всѣхъ нашихъ свѣдѣній о природѣ служатъ н а б л ю д е н і е и о п ы т ъ (экспериментъ). Опытъ есть, такъ сказать, активная форма наблюденія: это—наблюденіе въ нарочно создаваемой нами обстановкѣ, при которой мы можемъ, руководствуясь намѣченнымъ планомъ, устранять одни условія и замѣнять ихъ другими. Характерныя особенности „опыта“ мы сплошь и рядомъ встрѣчаемъ въ обычныхъ житейскихъ пріемахъ, которыми мы пользуемся, когда хотимъ добиться какого нибудь опредѣленнаго фактическаго знанія. Я провожу кускомъ мѣла черту по классной доскѣ и вижу, что черта выходитъ неясная. Повторяю другой, третій разъ—черта не выходитъ лучше. Тогда я беру другой кусокъ и провожу имъ вторую черту. Если черта теперь выходитъ хорошею, то я достигъ цѣли: нашелъ кусокъ хорошаго мѣла. Очевидно я произвелъ—хотя и въ самой элементарной формѣ—опытъ, ибо, взявъ другой кусокъ мѣла, я намѣренно измѣнилъ

условія явленія (мѣловой черты): исключилъ одно (первый кусокъ мѣла) и ввелъ другое (второй кусокъ). Но положимъ, что я провожу черту вторымъ кускомъ, третьимъ и т. д., и черта меня не удовлетворяетъ. Что я сдѣлаю? Я попробую чертить тѣмъ же мѣломъ на другой доскѣ. Если окажется, что мѣлъ теперь чертитъ хорошо, то я заключаю, что причина плохой черты лежала въ недостаткахъ доски, а не мѣла. На обычномъ языкѣ это значитъ „попробовать“ мѣлъ, доску; пробуя, что новаго выйдетъ при измѣненныхъ нами условіяхъ, мы именно производимъ опытъ.

Положимъ, что мнѣ приходится писать на бумагѣ, достоинства которой я не знаю, новымъ для меня перомъ и новыми чернилами. Если я вижу, что „пишется плохо“, то я буду мѣнять перо, бумагу и чернила, пока не окажется, въ чемъ именно лежалъ недостатокъ.

Пробуя сжимать *резиновый мячикъ*, мы какъ будто сжимаемъ скрытую въ немъ мягкую пружину. Откуда мы выносимъ увѣренность, что сдавливанію сопротивляется именно воздухъ, наполняющій мячъ? Изъ того всѣмъ извѣстнаго обстоятельства, что сопротивленіе тотчасъ исчезаетъ, если прорвать мячъ и дать воздуху выходъ наружу. Положимъ, кто нибудь, ссылаясь напр. на невидимость воздуха, сталъ бы утверждать, что воздухъ не можетъ оказывать такого сопротивленія, и что причина послѣдняго заключается въ свойствахъ матерьяла, изъ котораго сдѣланъ мячъ. Возникшій отсюда споръ былъ бы просто и неопровержимо разрѣшенъ, еслибы кто нибудь изъ противниковъ догадался прорвать мячъ, чтобы выпустить воздухъ, т. е. произвелъ бы подходящій къ дѣлу опытъ. Какъ ни элементаренъ этотъ примѣръ, онъ однако очень напоминаетъ то, что подъ разными видами повторялось въ исторіи физическихъ знаній: въ сколькихъ случаяхъ удачно придуманный опытъ сразу разрѣшалъ вопросъ, бывшій предметомъ долгихъ словесныхъ споровъ! Взять хотя бы многовѣковой вопросъ о томъ, имѣетъ ли воздухъ вѣсъ или нѣтъ: взвѣшивая склянку съ воздухомъ, который былъ сжатъ съ помощью поршня или разрѣженъ нагрѣваніемъ, *Галилей* безповоротно рѣшилъ вопросъ въ положительномъ смыслѣ.

Условія явленія конечно могутъ быть гораздо сложнѣе, и тогда производство опытовъ (пробъ) не приведетъ къ цѣли такъ легко. Извѣстно напр., какъ трудно бываетъ иногда добиться причины, почему керосиновая лампа плохо горитъ. Условія явленія здѣсь гораздо запутаннѣе и разобраться въ нихъ труднѣе. Если явленіе находится въ зависимости отъ многихъ условій, то мы легко впадаемъ въ ошибку относительно настоящихъ его причинъ, особенно если не умѣемъ наблюдать. Но дѣйствительное *умѣніе наблюдать* дается лишь очень немногимъ.

Научное наблюденіе отличается отъ обычнаго, житейскаго гораздо большею полнотою и точностью. Принимаются всевозможныя мѣры къ тому, чтобы не смѣшать одного признака съ другимъ и чтобы замѣтить малѣйшія различія въ признакахъ.

Вооруженное наблюденіе.

655. Конечно всякое наблюденіе связано съ дѣятельностью нашихъ органовъ чувствъ. Но то, чего мы совершенно не замѣчаемъ непосредственно, мы можемъ обнаружить помощью различныхъ приспособленій, такъ сказать, путемъ „вооруженнаго наблюденія“. Научною и техническою изобрѣтательностью больше всего въ этомъ отношеніи сдѣлано для органа зрѣнія, на долю котораго при наблюденіяхъ вообще выпадаетъ наибольшая работа. Говоря выше о микроскопѣ и телескопѣ (гл. XX), мы уже приводили въ § 375 примѣры того, насколько эти замѣчательные приборы расширяютъ область доступнаго нашему зрѣнію.

Но область воспринимаемаго нашими чувствами въ особенности расширяется благодаря тому, что мы, зная уже соотношеніе между нѣкоторыми явленіями, часто можемъ пользоваться одними чувствами вмѣсто другихъ. Въ нашемъ житейскомъ обиходѣ мы на каждомъ шагу прибѣгаемъ къ такому пріему. Напр. мы *смотримъ* на градусы термометра вмѣсто того, чтобы судить о температурѣ по *тепловымъ* ощущеніямъ, смотримъ на стрѣлку вѣсовъ вмѣсто того, чтобы испытывать *давленіе* взвѣшиваемаго предмета на руку; очень часто мы заключаемъ о томъ, изъ какого матерьяла сдѣланъ предметъ, по ощущенію тепла или холода при соприкосновеніи съ нимъ или по звуку при его паденіи на полъ; по звуку же можемъ судить, закипѣла ли вода въ металлическомъ чайникѣ, т. е. заключить о ея температурѣ. И т. п. Уже нѣкоторые изъ приведенныхъ примѣровъ ясно показываютъ, что этимъ путемъ мы совершенствуемъ самое наблюденіе: термометромъ температура опредѣляется гораздо точнѣе, чѣмъ непосредственной оцѣнкой на ощупь; вѣсы позволяютъ замѣтить разницу между давленіями, далеко меньшую той, какую мы еще могли бы обнаружить рукою (а смотря на стрѣлку комнатнаго барометра, мы видимъ измѣненія атмосфернаго давленія, о самомъ существованіи котораго поверхность нашего тѣла не даетъ намъ ровно никакихъ указаній). Интересно взглянуть, до какой степени „чувствительности“ доведены въ настоящее время нѣкоторые научные пріемы наблюденія.

656. Чувствительность лучшихъ *вѣсовъ* такова, что при нагрузкѣ по 1 килограмму на каждую чашку они замѣчаютъ прибавку уже въ $1/200$ миллиграмма, т. е. одну *двухсотмиллiонную* груза [1]. Непосредственной оцѣнкою вѣса при помощи руки можно въ лучшемъ случаѣ замѣтить $1/10$ величины лежащаго на рукѣ груза; слѣдовательно упомянутые вѣсы въ 20

[1] Ради наглядности не лишнее имѣть въ виду, что вѣсъ 1 грамма приблизительно равняется вѣсу серебрянаго пятачка, и что миллиграммъ составляетъ тысячную долю грамма.

милліоновъ разъ чувствительнѣе къ различіямъ въ давленіи, чѣмъ наше тѣло. Наименьшая величина давленія, ощущаемая разными точками нашего тѣла, лежитъ между граммомъ и примѣрно миллиграммомъ. Для малыхъ нагрузокъ построены чувствительные вѣсы, которые отзываются уже на 0,0001 миллиграмма, т. е. они въ 10000 разъ воспріимчивѣе самой чувствительной части нашего тѣла; они отклоняются уже тогда, когда на чашку упадетъ едва видимая для глаза пылинка.

Для наблюденія воздушнаго давленія, котораго мы вовсе не замѣчаемъ, придуманы приборы, обнаруживающіе измѣненіе давленія въ одну стомилліонную долю атмосферы. Такой приборъ показываетъ въ закрытой комнатѣ колебанія, когда на значительномъ разстояніи отъ него открываютъ дверь или кто нибудь пройдетъ чрезъ открытую дверь.

Человѣкъ, читающій мысли, ощущаетъ малѣйшія непроизвольныя и безсознательныя мускульныя сокращенія руки у того, чьи мысли напряженно сосредоточены на какомъ нибудь словѣ, предметѣ или поступкѣ. Но чувствительность лучшихъ угадывателей превзойдена аппаратомъ, спеціально построеннымъ для улавливанія (и записыванія) этихъ движеній помощью сложной системы рычаговъ. Онъ обнаруживаетъ внезапныя колебанія, когда напр. въ ряду словъ произносятъ слово, задуманное лицомъ, надъ которымъ производится опытъ.

Современные приборы, назначаемые для наблюденія сотрясеній почвы, настолько чувствительны, что напр. землетрясенія, случающіяся въ Японіи, отмѣчаются аппаратами, установленными въ средней Европѣ.

Оцѣнка разстояній конечно лучше всего производится зрѣніемъ. Глазъ можетъ различить при наиболѣе близкомъ разстояніи въ 10 см. двѣ черты, отстоящія одна отъ другой на $1/40$ мм. [1]. Лучшіе микроскопы показываютъ намъ вполнѣ раздѣльно двѣ тонкія черты, проведенныя на разстояніи $1/7000$ мм.; они слѣдовательно почти въ 200 разъ чувствительнѣе глаза. Но существуютъ сложные оптическіе пріемы, помощью которыхъ въ извѣстныхъ случаяхъ (при опредѣленіи длины свѣтовыхъ волнъ) разница въ стомилліонную и даже тысячемилліонную долю миллиметра еще можетъ быть уловлена!

Оптическими способами удается также замѣтить столь ничтожныя количества вещества, что ихъ нельзя было бы обнаружить никакими вѣсами. Напр. наблюденіемъ спектра раскаленныхъ паровъ—спектральнымъ анализомъ—можно открыть милліонную долю миллиграмма натрія [2].

---

[1] Миллиметръ приблизительно равняется толщинѣ обыкновенной головной шпильки.

[2] Любопытно, что наше обоняніе въ нѣкоторыхъ случаяхъ еще превосходить эту чувствительность,—когда именно приходится имѣть дѣло съ очень пахучими веществами.

Различіе во времени мы въ самомъ благопріятномъ случаѣ можемъ замѣтить, если оно не меньше $1/500$ секунды (при послѣдующихъ ударахъ электрическ. искръ). Съ помощью же нѣкоторыхъ приборовъ удается отмѣтить стомилліонную секунды.

Любопытно еще остановиться на замѣчательной чувствительности современныхъ измѣрителей тока, гальванометровъ, обнаруживающихъ возникновеніе малѣйшихъ электрическихъ токовъ. (Устройство ихъ во многомъ отличается отъ описаннаго въ нѣсколькихъ словахъ въ § 563). Стòитъ лишь привести полюсы такого прибора въ соприкосновеніе съ двумя точками нашего тѣла, чтобы получить значительное отклоненіе. Видную роль играетъ здѣсь состояніе духа у того, надъ кѣмъ производится опытъ. Если соединить оба полюса надлежащимъ образомъ съ ладонною и тыльною поверхностями руки, то обнаруживается токъ, когда изслѣдуемаго щекочатъ, даютъ ему что-нибудь понюхать или вызываютъ у него внезапное слуховое или свѣтовое впечатлѣніе, хотя бы при этомъ рука и не обнаруживала движенія. Мало того: гальванометръ обнаруживаетъ токами степень сочувствія или отвращенія испытуемаго субъекта къ другому, имя котораго онъ слышитъ.—Почти нѣтъ явленія, котораго нельзя было бы выслѣдить съ помощью такого аппарата: нужно только, чтобы изслѣдуемая энергія превращалась въ электрическую или давала бы толчекъ для проявленія уже накопленной электрической энергіи. Такъ можно измѣрить силу звука помощью телефона. Или можно измѣрять напряженность свѣтовыхъ лучей, подвергая тончайшія проволоки нагрѣванію лучами и наблюдая вызванное этимъ измѣненіе электропроводности проволоки помощью гальванометра (см. § 586). Такимъ образомъ удалось опредѣлять необычайно малыя колебанія температуры въ этихъ проволокахъ, менѣе милліонной доли градуса Ц. (Оцѣнка температурныхъ различій нашимъ тепловымъ чувствомъ ограничивается приблиз. $1/5°$ Ц.).

Соединеніе чувствительнаго гальванометра съ приспособленіемъ, которое, поглощая лучи, производитъ токъ, замѣняетъ наблюдателю глазъ по отношенію къ эфирнымъ колебаніямъ за предѣлами красной части спектра. Между тѣмъ какъ глазъ воспринимаетъ цвѣтовыя впечатлѣнія примѣрно на протяженіи того, что въ ученіи о звукѣ называютъ октавою, гальванометръ и фотографическая пластинка позволяютъ охватить цѣлыхъ 9 октавъ, и остается уже только небольшой промежутокъ до электромагнитныхъ волнъ, которыя Герцъ получилъ и обнаружилъ электрическимъ путемъ (§ 650).

Пріемы изученія явленій, которыя сами по себѣ намъ мало доступны или вовсе недоступны, видоизмѣняются въ физикѣ на тысячи ладовъ. Вотъ еще характернѣйшій примѣръ. Существуетъ способъ измѣренія электропроводности тѣлъ, при которомъ экспериментаторъ долженъ прислушиваться къ звуку, издаваемому телефономъ, и соотвѣтственно силѣ этого звука дѣлать нѣкоторыя

перемѣщенія въ измѣрительномъ аппаратѣ. Самая чистая — въ химическомъ смыслѣ—вода почти не проводитъ тока, и уже малѣйшее количество растворенныхъ въ ней веществъ значительно увеличиваетъ ея электропроводность. Такимъ образомъ экспериментаторъ можетъ услышать въ телефонъ, имѣется ли у него въ распоряженіи чистая вода или нѣтъ, и даже опредѣлить ничтожнѣйшее количественное содержаніе растворенныхъ въ ней веществъ [1].

Объ измѣреніи и погрѣшностяхъ измѣренія. Основныя единицы.

657. Измѣреніе играетъ въ физикѣ настолько важную роль, что мы остановимся здѣсь на нѣкоторыхъ сторонахъ дѣла, о которыхъ совсѣмъ не упоминалось раньше.

Какъ извѣстно, измѣрить величину значитъ узнать, сколько разъ въ ней содержится однородная съ нею величина, принятая за единицу. Если мы попробуемъ какъ можно тщательнѣе измѣрить какую-нибудь длину, и потомъ, со всѣми возможными предосторожностями, повторимъ измѣреніе, то окажется (если не считать исключительныхъ случаевъ), что второе измѣреніе дастъ результатъ, болѣе или менѣе отличающійся отъ перваго. При новомъ его повтореніи мы опять получимъ нѣсколько иное число. Каждое измѣреніе сопровождается нѣкоторыми неизбѣжными ошибками или „погрѣшностями“, зависящими какъ отъ несовершенства нашихъ чувствъ (главнымъ образомъ зрѣнія, такъ какъ чаще всего приходится наблюдать съ помощью глаза), такъ и отъ недостатковъ въ приборахъ и приспособленіяхъ, служащихъ для измѣренія. Непривычному кажется, что можно, приложивъ все свое вниманіе, измѣрить напр. длину „совершенно точно“. Но это происходитъ отъ того, что въ нашихъ обычныхъ практическихъ измѣреніяхъ мы всегда отбрасываемъ величины, которыя по малости не имѣютъ для насъ значенія: мы даже прямо привыкаемъ не замѣчать ихъ. Напр., опредѣляя длину около 1 аршина, обыкновенно пренебрегаютъ величинами меньшими $^1/_8$ вершка. Не удивительно, что тогда при повтореніи измѣренія можно получить „совершенно одинаковый“ результатъ, потому что при нѣкоторомъ вниманіи мы въ восьмушкахъ вершка конечно не ошибемся, а остатокъ меньшій восьмушки насъ вовсе не интересуетъ. При сколько-нибудь точныхъ измѣреніяхъ длины именно и приходится обращать вниманіе на эти „остатки“, и если они настолько малы, что трудно опредѣляются невооруженнымъ глазомъ, — прибѣгать

[1] Примѣры, касающіеся вооруженнаго наблюденія, взяты изъ интересной лекціи профессора лейпцигскаго университета О. Винера „Расширеніе области нашихъ чувственныхъ воспріятій“, б. ч. въ перев. проф. К. А. Тимирязева, впервые помѣщенномъ въ „Р. мысли“, 1904, № 2.

къ помощи увеличительныхъ стеколъ. Но и здѣсь есть граница, за которой ошибки неизбѣжны. Увеличительныя стекла и микроскопы не даютъ возможности отличать величины сколь угодно малыя. Не забудемъ и того, что измѣряемая длина обыкновенно ограничивается чертою; но самая черта имѣетъ толщину, которую никакими способами нельзя свести къ нулю.—Разнообразные источники погрѣшностей имѣются при измѣреніи каждой величины—нетолько длины. Поэтому никакое научное измѣреніе не свободно отъ такихъ „погрѣшностей наблюденія“; но отъ большей части измѣреній въ житейской практикѣ оно отличается тѣмъ, что доводитъ погрѣшности, благодаря усовершенствованнымъ пріемамъ наблюденія (см. выше), до очень малой величины [1]. Кромѣ того оно позволяетъ сдѣлать примѣрную оцѣнку самой величины погрѣшностей.

658. Не мало хлопотъ доставилъ въ дѣлѣ физическихъ измѣреній многосложный и трудный вопросъ объ установкѣ наиболѣе точныхъ и удобныхъ единицъ. Столь распространенныя нынѣ метрическія единицы считаютъ за собою длинную исторію: отъ конца XVIII столѣтія, когда онѣ впервые были установлены во Франціи, до конца XIX-го, когда онѣ стали общепризнанными въ наукѣ и нѣкоторыхъ отрасляхъ техники [2]. Въ настоящее время, ради единообразія, въ физикѣ всѣ измѣренія приводятся къ тремъ основнымъ единицамъ. Это именно:

[1] Такъ напр. самыми точными пріемами длина въ 1 метръ можетъ быть измѣрена съ ошибкою, не превышающею нѣсколькихъ десятитысячныхъ миллиметра; если даже допустить ошибку въ 0,001 мм., то это составитъ только одну милліонную всей измѣряемой длины, тогда какъ восьмушка вершка, еще принимаемая въ разсчетъ при измѣреніи длины въ 1 аршинъ въ житейской практикѣ, составляетъ $^1/_{128}$ аршина; слѣдовательно „относительная погрѣшность“ измѣренія въ первомъ случаѣ приблиз. въ 8000 разъ меньше, чѣмъ во второмъ. — Въ житейскомъ обиходѣ образцомъ точности считается взвѣшиваніе золота: если ошибку при взвѣшиваніи 1 фунта принять въ $^1/_2$ доли, то относительная погрѣшность будетъ около $^1/_{20000}$. Но современная техника построенія чувствительныхъ вѣсовъ и усовершенствованные пріемы взвѣшиванія даютъ возможность взвѣсить килограммъ съ точностью до одной двухсотмилліонной его вѣса. Такимъ образомъ послѣднее взвѣшиваніе примѣрно въ 10000 разъ точнѣе.

[2] Исходная единица всѣхъ метрическихъ мѣръ, метръ, согласно первоначальному постановленію парижской Академіи, должна была имѣть точно опредѣленное и простое отношеніе къ размѣрамъ земного шара, а именно составлять одну десятимилліонную часть четверти меридіана. Послѣдующія болѣе совершенныя измѣренія градусовъ меридіана показали, что первоначально принятый метръ немного (на $^1/_{12000}$ полной длины, т. е. на $^1/_{12}$ мм.) меньше, чѣмъ слѣдовало бы по основному его опредѣленію. Тогда отказались отъ мысли о простомъ числовомъ отношеніи метра къ длинѣ меридіана (при новомъ повтореніи измѣреній конечно можно было ожидать опять нѣсколько иного результата), и за международный метръ былъ поднятъ тщательно сохраняющійся въ Парижѣ основной образецъ. Нынѣ принимается, что окружность меридіана = 40008 километрамъ (а окружность экватора 40077 км.).

1) единица длины, сантиметръ, т. е. сотая часть хранящагося въ Парижѣ образцоваго метра, 2) единица массы, граммъ, т. е. тысячная часть находящагося тамъ же нормальнаго килограмма, и 3) единица времени, секунда, или $^1/_{86400}$ продолжительности среднихъ солнечныхъ (или гражданскихъ) сутокъ. Но вопросъ о „производныхъ единицахъ", служащихъ для измѣренія другихъ величинъ, чѣмъ длина, масса и время, нельзя считать завершеннымъ въ подробностяхъ и нынѣ: онъ непрерывно развивается по мѣрѣ усовершенствованія пріемовъ наблюденія и возникновенія новыхъ измѣрительныхъ задачъ.

О физическихъ законахъ.

659. Взаимная связь явленій, раскрываемая путемъ физическихъ изслѣдованій, находитъ свое высшее выраженіе въ физическихъ законахъ. Мы не можемъ здѣсь вдаваться въ тонкій и сложный вопросъ о томъ, какой смыслъ можетъ быть придаваемъ слову „законъ" въ разныхъ случаяхъ. Но нельзя не указать на нѣкоторыя слишкомъ явныя злоупотребленія этимъ терминомъ, которыя нерѣдко дѣлаются. 1) Вообще говоря, физическимъ закономъ утверждается нѣкоторая неизбѣжная зависимость между явленіями; но законъ никоимъ образомъ не есть причина того, что происходитъ. Напр. законъ свободнаго паденія тѣлъ выражаетъ зависимость между длиною пути, проходимаго тѣломъ въ послѣдовательныя секунды (§ 100); но самое паденіе тѣлъ происходитъ не вслѣдствіе этого закона, а производится неизвѣстною намъ ближе причиною, которую мы называемъ взаимнымъ притяженіемъ тѣла и земли. Между тѣмъ сплошь и рядомъ можно встрѣтить выраженія: здѣсь „дѣйствуетъ" такой-то законъ или: явленіе происходитъ „вслѣдствіе" такого то закона, — выраженія, подающія поводъ считать самый законъ за причину явленія. 2) „Законы природы" имѣютъ нѣчто общее съ законами человѣческими (государственными): тѣ и другіе говорятъ намъ, чего мы должны ожидать при извѣстныхъ обстоятельствахъ. Но между ними есть и существенная разница. Человѣческіе законы—установленія, которымъ люди могутъ подчиняться или нѣтъ; въ послѣднемъ случаѣ законъ все же остается таковымъ, пока его не измѣнятъ. Напротивъ, законы природы—не установленія или велѣнія, а положенія, долженствующія выражать собою неизмѣнный порядокъ природы, и они могутъ считаться законами лишь до тѣхъ поръ, пока имѣются доказательства, что они дѣйствительно выражаютъ этотъ порядокъ. Поэтому нельзя считать правильнымъ выраженіе: явленія „подчиняются" такому то закону, а говорить о „нарушеніи" закона природы или объ „исключеніи" изъ закона—просто нелѣпо; это значитъ лишь, что положеніе, считавшееся нами за законъ, не выражаетъ дѣйствительной зависимости между явленіями, т. е.

что истинный законъ намъ еще неизвѣстенъ. Люди, питающіе непріязнь къ естественно-научному знанію, очень склонны подчеркивать разные случаи „нарушенія" законовъ природы, не подозрѣвая, что этимъ они лишь выказываютъ непониманіе того, о чемъ берутся судить. 3) Физическій законъ устанавливается путемъ длиннаго ряда изслѣдованій, включающихъ какъ опыты, такъ и разсужденія (нерѣдко математическаго характера), и никоимъ образомъ не можетъ быть „доказываемъ" или „провѣряемъ" помощью классныхъ опытовъ, въ учебной обстановкѣ. Сплошь и рядомъ встрѣчающіяся выраженія: законъ „доказывается" или „провѣряется" такимъ-то или такими-то опытами—вселяютъ непосвященнымъ въ дѣло вообще совершенно превратное понятіе о пути, какимъ изслѣдователи доходятъ до закона; всякіе слѣды трудностей, встрѣчавшихся на этомъ пути, намѣренно устраняются въ спеціальной формѣ, которую принимаетъ и не можетъ не принимать классный опытъ.

Научныя догадки или гипотезы.

660. Никакое ознакомленіе съ чѣмъ либо новымъ для насъ не обходится безъ предположеній, безъ догадокъ,—почему именно дѣло происходитъ такъ, а не иначе; догадка руководитъ насъ въ выборѣ тѣхъ или другихъ способовъ ознакомиться съ дѣломъ ближе. Когда мы встрѣчаемся съ чужимъ для насъ человѣкомъ и вступаемъ съ нимъ въ разговоръ, мы обыкновенно не можемъ избѣгнуть того, чтобы не составить себѣ о немъ „перваго впечатлѣнія", другими словами — сдѣлать цѣлый рядъ догадокъ о его личныхъ особенностяхъ, которыя намъ пока совершенно неизвѣстны. Если интересъ къ новому лицу или обстоятельства заставляютъ насъ продолжать знакомство, то мы стараемся „провѣрить" первое впечатлѣніе, т. е. наши догадки, фактами, и даже ищемъ случаевъ поставить мало знакомаго человѣка въ такую обстановку, на которую онъ долженъ, по нашему предположенію, отозваться тѣмъ или инымъ образомъ. Тогда мы дѣлаемъ настоящій „опытъ"—конечно съ перемѣннымъ успѣхомъ; но нѣкоторые „практики", какъ извѣстно, отличаются замѣчательнымъ умѣніемъ дѣлать такіе опыты надъ людьми, въ которыхъ они хотятъ открыть ту или другую нужную для нихъ черту характера или способность. Болѣе близкое знакомство съ человѣкомъ чаще всего не подтверждаетъ всѣхъ нашихъ первоначальныхъ догадокъ о немъ, и мы вносимъ въ нихъ соотвѣтственныя измѣненія, поправки, которыя вновь стараемся провѣрить. Бываетъ, что всѣ наши руководящія догадки оказываются невѣрными: мы „разочаровываемся" въ человѣкѣ, т. е. отбрасываемъ прежнія наши догадки, составляемъ себѣ совсѣмъ иныя и быть можетъ, если онъ продолжаетъ интересовать насъ, снова пробуемъ дѣлать провѣрку. Иногда проходитъ много времени, прежде чѣмъ получится твер-

дая увѣренность, что мы дѣйствительно узнали другъ друга. „Съѣденъ-таки вмѣстѣ пудъ соли“ говорятъ въ такихъ случаяхъ, слѣдуя извѣстной поговоркѣ [1]. Научныя догадки, или гипотезы, по ихъ происхожденію и значенію, имѣютъ много общаго съ разобраннымъ только что житейскимъ примѣромъ; сходство становится тѣмъ очевиднѣе, чѣмъ ближе знакомишься съ процессомъ научныхъ открытій.

Конечно, чѣмъ больше правильныхъ руководящихъ нитей дала гипотеза, чѣмъ полнѣе она оправдалась найденными фактами, тѣмъ настойчивѣе ее склонны удерживать даже тогда, когда несомнѣнные новые факты оказываются въ противорѣчіи съ нею. Если гипотеза не поддается такимъ измѣненіямъ, которыя привели бы (безъ натяжекъ) къ желательному согласію, то она должна быть отброшена: иначе она явится не пособіемъ, а тормазомъ для дальнѣйшихъ успѣховъ науки. Она будетъ поводомъ для „предубѣжденія“ противъ новаго взгляда на дѣло, подобно тому, какъ наше предубѣжденіе противъ кого нибудь, основанное на незнаніи или отрицаніи нѣкоторыхъ фактовъ, можетъ стать большою помѣхою для пріобрѣтенія болѣе правильнаго взгляда.

661. Научная догадка о томъ, что тѣла построены изъ мельчайшихъ частицъ или молекулъ, а молекулы изъ атомовъ,—одна изъ плодотворнѣйшихъ гипотезъ, какими когда либо располагали точныя науки о природѣ. Мы уже достаточно подробно останавливались на ней раньше въ гл. XIII (§§ 219 и 220) и XXVII (§§ 483, 484); но сказаннымъ далеко еще не исчерпывается ея значеніе. Убѣжденіе въ томъ, что всякій видъ вещества, съ которымъ встрѣчается научное изслѣдованіе, надо представлять себѣ имѣющимъ прерывистое — частичное — строеніе, нынѣ все болѣе утверждается въ умахъ физиковъ. Но взгляды на конечный предѣлъ дѣлимости вещества, на атомъ (слово, обозначающее „недѣлимый“), за послѣднее время сильно измѣнились. Длиннымъ рядомъ изслѣдованій, поразительныхъ по тонкости и изобрѣтательности, установлены факты, которые нельзя истолковать себѣ иначе, какъ считая и самый атомъ чѣмъ то очень сложнымъ по внутреннему строенію: это цѣлый новый міръ, какъ бы повторяющій въ недоступно малыхъ размѣрахъ тотъ необъятно большой, ничтожную часть котораго составляетъ наша солнечная система. Вмѣстѣ съ тѣмъ внутри атома должны быть скрыты новые и огромные запасы энергіи, о которыхъ прежде нельзя было и подозрѣвать. Мы вынуждены здѣсь ограничиться этими замѣчаніями, упомянувъ лишь по названію объ обширной и увлекательной области, раскрытой новѣйшими научными изслѣдованіями: это—ученіе о радіоактивности, о іонахъ и электронахъ [2].

[1] „Съѣсть вмѣстѣ пудъ соли“ — конечно значитъ часто и въ теченіе долгаго времени соприкасаться другъ съ другомъ, вплоть до совмѣстнаго принятія пищи.

[2] Слѣдующія числа дадутъ хотя нѣкоторое понятіе о невообра-

662. Другая важная гипотеза современной физики — гипотеза о міровой средѣ, или міровомъ эфирѣ. Свойства, которыми должна обладать эта среда, дѣятельно и разносторонне изучаются многими физиками; дѣлаются попытки объяснить при помощи эфира основныя свойства обыкновеннаго вещества, доступнаго нашимъ чувствамъ. Но возникаетъ неизбѣжный вопросъ о томъ, изъ чего и какъ построенъ самый эфиръ? Разъ поставленъ этотъ вопросъ, почти нельзя обойтись безъ атомистическаго взгляда—безъ предположенія, что и эфиръ не есть нѣчто сплошное, а имѣетъ „зернистое“ сложеніе. Здѣсь раскрывается область необъятной сложности, по поводу которой одинъ современный англійскій физикъ [1] выражается слѣдующимъ образомъ. Положимъ, мы объяснили вещество при помощи эфира. Эфиръ, въ свою очередь, описывается въ видѣ плотнаго конгломерата или собранія мельчайшихъ зеренъ, находящихся въ постоянномъ колебаніи: мы объяснили свойства эфира. Пусть такъ. Но что же это за зерна, изъ которыхъ состоитъ эфиръ? Не имѣютъ ли и они частей, внутри которыхъ открывается новое поле сложности? Изъ какого вещества они сдѣланы? Не нужно ли будетъ придумать для объясненія ихъ свойствъ новый эфиръ, болѣе тонкій, чѣмъ первый, а для объясненія этого еще третій эфиръ? „Мысль отказывается остаться удовлетворенной на какой нибудь ступени этого процесса“...

Объ отношеніи науки и житейской практики.

663. Знаніе взаимной зависимости явленій позволяетъ намъ, такъ сказать, владѣть ими и направлять ихъ въ свою пользу. При своей физической слабости человѣкъ безъ такого знанія („дикарь“) не могъ бы вести борьбы съ мощной энер-

зимой малости частицъ, съ которыми приходится имѣть дѣло, углубляясь въ вопросъ о строеніи вещества. Въ 1 куб. миллиметрѣ воды (примѣрно объемъ капли, пристающей къ острію иголки), по приблизительной оцѣнкѣ, должно содержаться 30 трилліоновъ (3 съ 19-ю нулями) молекулъ, а въ такомъ же объемѣ какого нибудь газа (при обыкновенныхъ условіяхъ температуры и давленія), въ которомъ частицы гораздо менѣе скучены,—25000 билліоновъ (25 съ 15-ю нулями). „Такія числа мало говорятъ уму; но полезно припомнить, что на самую тонкую черту, какая ясно видна въ хорошій микроскопъ, и толщина которой приближается къ десятитысячной миллиметра, улеглось бы поперекъ около 300 молекулъ. Такимъ образомъ молекулярное строеніе вещества не неизмѣримо тоньше величинъ, воспринимаемыхъ нашими чувствами при помощи современныхъ инструментовъ“. Но молекулы построены изъ атомовъ, а малѣйшая изъ составныхъ частей атома, названная электрономъ, должна имѣть діаметръ, который не составляетъ и одной стотысячной діаметра атома, и ихъ относительные размѣры можно пояснить сравненіемъ съ „мухой, носящейся въ соборѣ“. (Изъ книги проф. Ветгэма „Современное развитіе физики“. Одесса 1908, стр. 242 и 267).

[1] Ветгэмъ—въ названной книгѣ, стр. 273.

гіей природы. *Но знаніе — его сила.* Пользуясь естественными свойствами тѣлъ и зная напередъ, какія послѣдствія произойдутъ при взаимодѣйствіи тѣхъ или другихъ предметовъ, человѣкъ лишь ставитъ тѣла въ надлежащія условія, а затѣмъ уже сама природа начинаетъ работать въ требуемомъ направленіи. „*Побѣждать природу возможно только соблюдая ея законы*“. Когда затонувшее судно извлекаютъ изъ воды помощью надуваемыхъ воздухомъ мѣшковъ—заставляютъ работать ту самую силу тяжести, вслѣдствіе которой судно потонуло. Надлежащее сочетаніе желѣзныхъ массъ и мѣдной проволоки, представляющее собою современную динамоэлектрическую машину, даетъ намъ возможность пользоваться энергіей водопада для полученія свѣта, мало уступающаго дневному. Техническое умѣнье—своего рода „хитрость“, умѣнье заставить работать на себя готовые уже запасы энергіи, зная лишь, какъ слѣдуетъ сочетать ихъ [1]. Отсюда ясно отношеніе науки къ прикладному знанію—къ техникѣ. Все то, чѣмъ современная культурная жизнь отличается отъ первобытной въ отношеніи безопасности и удобства, добыто путемъ многовѣковаго изученія природы и приложенія научныхъ знаній къ нуждамъ нашей повседневной жизни.

Не слѣдуетъ однако, увлекаясь этою стороною дѣла, отводить физикѣ исключительно служебную, узко-утилитарную роль. Ея значеніе, какъ предмета *образовательнаго*, который *расширяетъ нашъ умственный кругозоръ* и возвышаетъ человѣка надъ сковывающей его обыденщиной, конечно должно стоять на первомъ планѣ: техническія примѣненія напрашиваются сами собою, какъ скоро взаимныя отношенія предметовъ стали для насъ ясными, и использовать ихъ для практическихъ цѣлей — уже дѣло технической догадки или изобрѣтательности.

Нельзя не указать еще на другого рода приложенія физическихъ знаній—въ области, такъ сказать, обостренія и усовершенствованія нашихъ чувствъ при содѣйствіи придуманныхъ для наблюденія инструментовъ. Расширеніе нашихъ чувственныхъ воспріятій, необыкновенно усиливая средства изслѣдованія, прямо ведетъ къ нѣкоторымъ общеполезнымъ слѣдствіямъ. Такъ наблюденія въ микроскопъ привели къ возможности, путемъ прививокъ, значительно уменьшить смертность отъ оспы, собачьяго бѣшенства, дифтерита и пр.; открытіе рёнтгеновскихъ лучей, давшее намъ средство видѣть сквозь непрозрачные предметы, нашло полезнѣйшія примѣненія въ хирургіи. И т. п.

---

[1] Въ самомъ дѣлѣ, выраженія „хитро“ и „хитрая механика“ охотно примѣняются въ житейской практикѣ къ такому сочетанію предметовъ, при которомъ цѣль очень просто достигается какъ бы сама собою. Пользуясь вѣтромъ, идутъ на парусахъ „противъ вѣтра“. Дѣйствіемъ силы тяжести, влекущій тѣла книзу, поднимаютъ грузы. Когда при посредствѣ шлюзъ переводятъ тяжелое судно изъ одного озера въ другое съ болѣе высокимъ уровнемъ воды, пользуются ничѣмъ инымъ, какъ тою же силою тяжести и т. п. Вотъ еще одинъ изъ множества примѣровъ „хитраго“ использованія обстоятельствъ для цѣлей передвиженія. До примѣненія электрическаго трамвая для перевозки пассажировъ чрезъ Неву зимой, перевозка одно время производилась съ помощью проложеннаго по льду рельсоваго пути и двухъ вышекъ или „горъ“ у береговъ. Желающіе переѣхать всходили на вышку, садились въ вагончикъ и, скатившись съ горы, быстро доѣзжали по рельсамъ до другого берега. Здѣсь въ сущности каждый *перевозилъ себя самъ* — на счетъ той работы, которую онъ долженъ былъ затратить противъ тяжести, чтобы взойти на вышку.

664. Часто слышится утвержденіе, что „наука“ или „теорія“ *противорѣчитъ* житейской практикѣ, что „въ теоріи—одно, а на практикѣ—другое“. Въ такой общей формѣ утвержденіе это конечно ошибочно. Кажущееся противорѣчіе заключается въ слѣдующемъ. Житейскія и общественныя отношенія чаще всего такъ многосложны, что не поддаются изученію со всѣми ихъ частностями. Изученіе — ставящее себѣ цѣлью раскрытіе взаимной зависимости явленій — прежде всего требуетъ, чтобы изъ массы подробностей были выдѣлены сравнительно немногія, но существенныя обстоятельства: въ этомъ неизбѣжномъ „упрощеніи“ и состоитъ прежде всего „теоретическое“ отношеніе къ предмету. „Знаніе — не копированіе дѣйствительности, а ея преобразованіе и упрощеніе. *Малѣйшая частица міра содержитъ въ себѣ больше, чѣмъ могъ бы описать въ теченіе своей конечной жизни конечный человѣкъ*“. Выводы науки, добытые такимъ образомъ, обыкновенно и бываютъ справедливы по отношенію къ явленіямъ въ ихъ преобразованномъ и упрощенномъ видѣ; они нерѣдко могутъ помочь намъ разобраться и въ болѣе сложныхъ обстоятельствахъ; но было бы ошибочно требовать отъ нихъ прямой примѣнимости напр. къ запутаннымъ отношеніямъ „практики“. Слѣдовательно „противорѣчіе“ возникаетъ лишь вслѣдствіе неумѣстнаго примѣненія правильнаго вывода изъ извѣстныхъ фактовъ къ обстоятельствамъ гораздо болѣе сложнымъ. Конечно возможна и ошибочная теорія; но ошибки ея признаются самою же наукою, которая идетъ на встрѣчу поправкамъ, вносимымъ практикой. По самому существу дѣла наука не можетъ противорѣчить практикѣ, потому что *научное зданіе возводится ничѣмъ инымъ, какъ обыкновеннымъ „здравымъ умомъ“, на почвѣ любознательности, усовершенствованнаго наблюденія и безпощадной критической провѣрки выводовъ.*

665. Другое очень распространенное мнѣніе, что наука, называемая „физикой“, и явленія нашей повседневной жизни—двѣ области, не имѣющія между собою ничего общаго, конечно поддерживается догматическимъ изложеніемъ предмета въ большинствѣ учебниковъ и почти такимъ же его преподаваніемъ. На самомъ дѣлѣ связь между названными областями въ извѣстныхъ

отношеніяхъ весьма тѣсная. Въ предшествовавшихъ главахъ мы не разъ видѣли, что на почвѣ обыкновеннѣйшихъ, такъ сказать, житейскихъ явленій зарождались широкіе научные выводы. Можно сказать, что величайшіе физики во многихъ изъ своихъ изслѣдованій обильно черпали изъ сокровищницы обыденныхъ физическихъ знаній. Правда, такіе люди обладали даромъ—который дается немногимъ—обращать всю силу своей наблюдательности и мысли на вещи, которыхъ мы не замѣчаемъ или мимо которыхъ равнодушно проходимъ, нерѣдко считая ихъ незаслуживающими вниманія мелочами. *Особенность сосредоточиваться на томъ, чего не замѣчаютъ многіе другіе, ученый раздѣляетъ съ художникомъ*, и она именно часто дѣлаетъ того и другого „странными“ въ житейскомъ смыслѣ людьми. Знакомство съ нѣкоторыми частностями жизни великихъ ученыхъ (ихъ біографіями) можетъ дать намъ поразительные примѣры того, до какой степени заинтересовавшій ихъ предметъ временно овладѣвалъ всѣми ихъ духовными силами, дѣлая ихъ совершенно равнодушными къ житейской обстановкѣ. Но не надо быть и „ученымъ“, чтобы, внимательно присматриваясь къ окружающей природѣ, замѣчать въ ней многое такое, что въ упорядоченномъ видѣ ведетъ *къ научному* знанію.

Конечно физика, разростаясь и вширь, и вглубь, во многихъ своихъ изслѣдованіяхъ далеко заходитъ за предѣлы того, что можно почерпнуть изъ повседневнаго наблюденія, ставитъ вопросы, которые до-поры до-времени могутъ интересовать только физика-спеціалиста. Но это не мѣшаетъ ей оставаться родственною обыденному практическому знанію по способу или методу его пріобрѣтенія. Объ этомъ знаменитый германскій ученый Гельмгольцъ говоритъ слѣдующее: „Нѣтъ ничего проще метода изслѣдованія, который, послѣ многихъ безплодныхъ блужданій, подъ конецъ установился въ естествознаніи. Этотъ методъ, обыкновенно называемый *индуктивнымъ*, въ дѣйствительности не что иное, какъ *тотъ самый пріемъ, которымъ пользуется житейскій „здравый разсудокъ“ для практическихъ цѣлей повседневной жизни*, — пользуется самъ собою, безъ всякаго научнаго воспитанія; несомнѣнные слѣды его примѣненія мы встрѣчаемъ даже у наиболѣе умныхъ животныхъ“.

666. Остается сдѣлать еще одно замѣчаніе, касающееся научнаго знанія. Современную науку нерѣдко упрекаютъ въ томъ, что она направила свои усилія на изученіе подробностей, что она теряется въ мелочахъ. Особенно часто этотъ незаслуженный упрекъ направляется по адресу естествознанія. Но давно всѣмъ извѣстно, что великія открытія всегда подготовлялись предшествующей кропотливой работой; геній заключается въ искусствѣ освѣтить и связать въ одно цѣлое то, что обыкновеннымъ людямъ кажется разрозненнымъ и разъединеннымъ. Въ тиши ученыхъ кабинетовъ задумывается многовѣковая борьба человѣка съ природой; въ этой трудной борьбѣ, въ которой человѣкъ медленно, но неуклонно подвигается впередъ, природа стойко, можно сказать, съ ожесточеніемъ, отстаиваетъ каждую пядь, а потому мы не должны упускать изъ виду ни малѣйшей детали. Съ этой точки зрѣнія, для науки нѣтъ явленій неинтересныхъ и недостойныхъ вниманія. Исходной точкой всѣхъ колоссальныхъ успѣховъ техники, которыми столь заслуженно гордится XIX вѣкъ, послужили столь мало интересныя для текущей жизни явленія, какъ сокращеніе мускуловъ препарированной лягушки, отклоняющее дѣйствіе тока на магнитную стрѣлку, намагничиваніе куска желѣза токомъ, изученіе микроорганизмовъ и т. п. И благодаря лишь длинному ряду кропотливыхъ работъ, удалось сковать, направить и заставить работать на пользу человѣчества естественныя силы природы. Благодаря этимъ усиліямъ, человѣку удалось проникнуть въ темную недоступную глубь животнаго организма и достигнуть тѣхъ истинно-чудесныхъ результатовъ, которыми теперь удивляютъ весь міръ знаменитые хирурги. Въ лабораторіяхъ и кабинетахъ и теперь заняты усиленной выработкой мѣръ, которыя должны быть приложены къ усовершенствованію техники земледѣлія съ цѣлью предотвращать тѣ бѣдствія, которыя переживаетъ такъ часто наша родина. *Но всѣ эти работы скрыты отъ глазъ массъ; онѣ происходятъ, такъ сказать, за кулисами обыденной жизни*. Отсюда неумѣніе правильно оцѣнить эту работу и въ результатѣ—упрекъ въ мелочности и кажущемся несоотвѣтствіи ея животрепещущимъ интересамъ дня [1].

Какъ изучать начала физики, и что можетъ изъ нихъ почерпнуть образованный человѣкъ?

667. Ознакомленіе съ началами физики—дѣло въ извѣстныхъ отношеніяхъ довольно трудное. Главное затрудненіе заключается въ необходимости *самому производить физическіе опыты*, что требуетъ и хорошаго руководства, и умѣнья имъ пользоваться, и расходовъ. Другая немаловажная трудность связана съ тѣмъ, что изложеніе физическихъ фактовъ, законовъ и теорій, хотя бы и элементарное, *не можетъ обходиться безъ математической рѣчи*, безъ арифметики, началъ алгебры и геометріи; попытки излагать начала физики безъ пособія математики по необходимости должны ограничиваться довольно узкими предѣлами, за которыми онѣ чаще всего ведутъ лишь къ безплодному многословію. Наконецъ ознакомленіе съ началами механики, или науки о движеніи, также есть необходимое условіе для пониманія пріемовъ физическаго изслѣдованія и широкихъ обобщеній физики.

---

[1] См. превосходный очеркъ проф. А. В. Клоссовскаго: „Физическая жизнь нашей планеты на основаніи современныхъ воззрѣній“ (Одесса 1908), стр. 41—42.

Но, запасшись нѣкоторымъ самостоятельно проработаннымъ опытнымъ матерьяломъ и пройдя начальный курсъ математики и механики приблизительно въ объемѣ гимназическаго (за выключеніемъ ненужнаго балласта), можно извлечь много пользы и умственнаго наслажденія, граничащаго съ художественнымъ, изъ лучшихъ образцовъ популяризаціи знанія. Процессъ научнаго творчества, исторія развитія взглядовъ на природу, заманчивые горизонты будущаго—все это въ рукахъ талантливаго популяризатора принимаетъ обликъ вполнѣ доступный нѣсколько подготовленному внимательному читателю. „Въ любой научной области, за исключеніемъ развѣ математики, трудно найти идею, даже цѣлую теорію, которой нельзя было бы изложить безъ ущерба для нея общепринятою литературною рѣчью. И спеціальные пріемы изученія опираются на общіе логическіе методы и потому могутъ быть выяснены человѣку со среднимъ образованіемъ“ [1].

Что можетъ дать знакомство съ началами физики человѣку, претендующему на званіе „образованнаго“,—конечно сверхъ простого расширенія фактическихъ свѣдѣній? Оно можетъ научить его разбираться въ кажущейся пестротѣ явленій, среди которыхъ мы живемъ, находить въ далекихъ повидимому вещахъ общія черты и связующія звенья,—и такимъ образомъ сдѣлать интереснымъ многое, къ чему обыкновенно привыкаютъ относиться съ полнѣйшимъ равнодушіемъ. Оно можетъ воспитать твердую увѣренность въ томъ, что при точно опредѣленныхъ физическихъ условіяхъ всегда произойдетъ одинъ и тотъ же результатъ, и сообщить привычку судить о явленіяхъ природы на достаточномъ основаніи. Наконецъ оно можетъ пріобщить насъ къ процессу научнаго творчества геніальныхъ испытателей природы и сдѣлать отрывки изъ ихъ сочиненій источникомъ величайшаго умственнаго наслажденія. Въ частности, преподавателю и воспитателю оно даетъ неисчерпаемый матерьялъ для удовлетворенія здоровой любознательности подростающаго поколѣнія, среди котораго конечно есть дѣти съ задатками будущихъ натуралистовъ: нужно дорожить этими цѣнными задатками, всѣми силами укрѣплять и воспитывать ихъ!

Одинъ знаменитый русскій писатель по научно-философскимъ и общественнымъ наукамъ сорокъ лѣтъ назадъ сказалъ, что наше знакомство съ естествознаніемъ есть грамотность мысли. И это глубокое замѣчаніе конечно болѣе всего нужно отнести къ физикѣ—царицѣ естественно научнаго метода.

[1] Изъ статьи проф. Н. А. Умова „Задачи научной популяризаціи“ въ № 1 „Научнаго Слова“ за 1903 г.

Соотношенія между важнѣйшими единицами метрическихъ и русскихъ мѣръ.

Отношенія, отличающіяся отъ узаконенныхъ менѣе, чѣмъ на 0,001 всей величины, напечатаны жирн. шрифтомъ [1]), а въ скобкахъ—удобныя для примѣрныхъ разсчетовъ. Сокращенія: метръ—м., дециметръ—дцм., сантиметръ—см., миллиметръ—мм., километръ—км.; футъ—ф., дюймъ—д., линія—лин., сажень—с., аршинъ—ар., вершокъ—врш., верста—врс.; граммъ—гр., дециграммъ—дг., сантиграммъ—сг., миллиграммъ—мг., килограммъ—кг., тонна—т.; фунтъ—фн., золотникъ—з., лотъ—л., пудъ—п.

Линейныя единицы.

Метръ = 10 дцм. = 100 см. = 1000 мм. = * **22,5** врш. = **3,28** ф. = **39,4** д. ($\frac{1}{2}$ сажени).

Дециметръ = 0,1 м. = **0,328** ф. = **3,94** д. ($\frac{1}{3}$ ф. или 4 д.).

Сантиметръ = 0,01 м. = **0,394** д. (0,4 или $\frac{2}{5}$ д.). = ***2,25** врш. ($2\frac{1}{4}$ врш.).

Миллиметръ = 0,001 м. = **0,394** л. ($\frac{2}{5}$ лин. или $\frac{1}{25}$ д.).

Аршинъ = 16 врш. = 28 д. = **0,711** м. (71 или 70 см.).

Сажень = 3 ар. = 48 врш. = 7 ф. = 84 д. = 2,13 м. = 213 см. ($2\frac{1}{8}$ или 2 м.).

Футъ = 12 д. = $6\frac{6}{7}$ врш. (7 врш.). = **3,05** дцм. = **30,5** см. (3 дцм. или 30 см.).

Дюймъ = 10 лин. = $\frac{4}{7}$ врш. = ***2,54** см. = ***25,4** мм. ($2\frac{1}{2}$ см. или 25 мм.).

Вершокъ = $1\frac{3}{4}$ д. = $\frac{7}{48}$ ф. ($\frac{1}{7}$ ф.). = 4,45 см. ($4\frac{1}{2}$ см.).

Километръ = 1000 м. = ***15/16** врс. (верста).

Верста = 500 с. = 3500 ар. = ***16/15** км. (километръ).

Квадратныя единицы.

Кв. метръ = 100 кв. дцм. = 10000 кв. см. = 1000000 кв. мм. = 1,98 кв. ар. (2 кв. ар.).

Кв. километръ = 1000000 кв. м. = **0,879** кв. врс. ($\frac{7}{8}$ кв. врс.).

Кв. сажень = 9 кв. ар. = 49 кв. ф. = **4,55** кв. м. ($4\frac{1}{2}$ кв. м.).

Кв. аршинъ = 256 кв. врш. = 784 кв. д. = **0,506** кв. м. ($\frac{1}{2}$ кв. м.).

Кв. верста = 250000 кв. с. = 1,14 кв. км. ($\frac{8}{7}$ кв. км.).

[1]) Звѣздочками обозначены наиболѣе точныя, которыхъ погрѣшность не превышаетъ 0,0002 всей величины, а иногда и значительно меньше. Напр. **22,5** получено округленіемъ числа 22,497, а **15/16** = 0,9375, тогда какъ болѣе точное отношеніе = 0,9374. Вмѣсто дроби 15/16 иногда удобно бываетъ взять очень мало отличающуюся отъ нея 14/15. Болѣе подробныя данныя см. *Сравнительныя таблицы русскихъ, метрическихъ и англійскихъ мѣръ*, изд. Главною палатою мѣръ и вѣсовъ въ Пб., ц. 20 к.

Объемныя единицы.

Куб. метръ (стеръ) = 1000 куб. дцм. вмѣщаетъ ***1** т. воды при 4° Ц. = ***35,31** куб. ф. = **0,103** куб. с. (35 1/3 или 35 куб. ф., 1/10 куб. с.).

Куб. дециметръ = 1000 куб. см.

Литръ = объему 1 килограмма воды при 4° Ц. = ***1** куб. децим. = **61** куб. д. = 0,081 ведра (0,08 или 2/25 ведра).

Куб. сажень = 27 куб. ар. = 343 куб. ф. = **9,71** куб. м. (10 куб. м.).

Куб. аршинъ = 4096 куб. верш. = **0,36** куб. м.

Куб. футъ = 1728 куб. д. (**2,3** ведра) вмѣщаетъ **69** 1/8 фн. воды при об. темп. = ***28,32** куб. дцм. (28 1/3 или 28 куб. дцм.).

Ведро = ***750** 1/2 куб. д. (0,43 куб. ф.) вмѣщ. **30** фн. (3/4 п.) воды при об. темп = ***12,3** литра (12 1/2 литр.).

Единицы вѣса (массы).

Граммъ = вѣсу ***1** куб. см. воды при 4° Ц. = 10 дг. = 100 сг. = 1000 мг. = $\frac{1}{410}$ фн. = 0,23 з. ($\frac{1}{4}$ золотника).

Килограммъ = вѣсу 1 литра воды при 4° Ц. = 1000 гр. = **2,44** фн. (2 1/2 фн. или 1/16 п.).

Тонна (метрич.) = вѣсу 1 куб. м. воды = 1000 кг. = **61** п. (60 п.).

Фунтъ = вѣсу **25** куб. д. воды при об. темп. = 32 л. = 96 з. =***409,51** или **409,5** гр. (410 гр. или 2/5 кг.).

Пудъ = вѣсу 1000 куб. д. воды = 16,4 кг. (16 кг.).

Нѣсколько чиселъ, относящихся до размѣровъ земли.

Длина діаметра экватора	12755 км. или	11956 врс.	(12000).
„ *земной оси*	12712 „ „	11916 „	
Разность	43 км. или	40 врс.	

составляетъ приблизительно 1/300 всей величины. Если діаметръ экватора изобразить длиною въ 30 см. (1 ф.), то длина земной оси будетъ короче всего на 1 мм.

Окружность земного меридіана = 40008 км. (40000 км. или 37 1/2 тыс. врс.), *окружность экватора* = 40077 км.

Поверхность земного шара около 1/2 милліарда кв. км., *объемъ* около 1 билліона куб. км.

Человѣкъ средняго роста (1,5 м.) примѣрно въ 8 1/2 милліоновъ разъ меньше діаметра земли, а самая высокая гора (8,8 км. надъ уровнемъ моря)— въ 1 1/2 тысячи разъ.

Длина 1 градуса меридіана:

Подъ широтою	*Килом.*	*Верстъ*
0° (экваторъ)	110,6	103,6
45°	111,1	104,2
60° (Пб.)	111,4	104,4
90° (полюсъ)	111,7	104,7
Длина градуса экватора	111,3	104,4

Геогр. или нѣмецкая миля (1/15° экватора) = **7,42** км. = **6,96** врс. (7 врс.). **Морская миля** (1 минута дуги меридіана) = 1/4 геогр. мили = **1,852** км. = 1,74 врс. (**1 3/4 врс.**).

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ [1]).

---

[1]) Цифры обозначаютъ страницы текста (иногда и вопросниковъ, когда изъ нихъ можно извлечь нѣкоторыя положительныя свѣдѣнія); табл. (въ скобкахъ) обозначаетъ ссылку на таблицу въ концѣ книги. Заглавное слово обозначается при повтореніяхъ обыкновенно одной буквой, напр. Вода, Водородъ—буквою в. Другія чаще встрѣчающіяся сокращенія: вб.—вообще, в-ства—вещества, вын.—выноска, зак.—законъ, сл.—слѣдующая (страница), см.—смотрѣть, ч.—часть, эл.—электр.

НЕОБХОДИМЫЯ ПОПРАВКИ.

Страница.	*Строка.*	*Напечатано.*	*Слѣдуетъ.*
18	6 сн.	бозопасный	безопасный
29	9 св.	соскальзывая	опускаясь
30	12 сн.	твѣсными	отвѣсными
211	1 св.	водорода	углерода
273	1 сн.	„Начальную физику"	„Физику"
284	1 св.	учкомъ	пучкомъ
345	4 и 5 св.	плохо отпечатаны Bf и f	
390	Почти весь	§ 356 взять изъ „Начальной физики" Любимова, 2-е изд.	
402	10 сн.	n	n_1
418	15 сн.	гипольсуфита	гипосульфита
547	12 св.	которое	которую
550	18 сн.	сообщеніямъ	сообщеніемъ
551	18 сн.	поэтому	потому
664	19 св.	ширины и длины пути.	ихъ ширины и длины.
674	7 св.	когда	тогда
762	13 сн.	большее	большое

Рис. 54 въ нижней части не отвѣчаетъ тому, что сказано въ текстѣ.

Рис. 294 и 295 помѣщены въ разныхъ поворотахъ.

Рис. 459. Пружинка b должна прикасаться къ концу винтика c.

Рис. 462. Нижняя часть, между A и B, могущая показаться выемкой, на самомъ дѣлѣ массивная.